Koit Timpmann

FÜÜSIKA IX KLASSILE

ELEKTRIÕPETUS

Koit Timpmann FÜÜSIKA IX KLASSILE ELEKTRIÕPETUS

Koit Timpmann

FÜÜSIKA

IX KLASSILE

ELEKTRIÕPETUS

PH
LÕTS

Haridusministeerium kinnitab, et õpik vastab ainekavale

Retsenseerinud Venda Paju ja Henn Voolaid
Kaas ja joonised Tiina Porgand
Fotod Jaak Siirak
Toimetaja Enn Randma
Kunstiline toimetaja Mare Henno
Tehniline toimetaja Mall Tammes

Tallinn, 1999
ISBN 9985-0-0755-7

Postiaadress: AS "Koolibri", pk 223, 10503
Asukoht: Pärnu mnt 10, Tallinn

© Koit Timpmann, 1999
© Kirjastus Koolibri, 1999

SAATEKS

Sa oled õppinud füüsikat juba veidi rohkem kui aasta. Oled vaadelnud valguse spektri imepäraseid värve ja võrrelnud neid vikerkaarega, uurinud, mis põhjusel muutub keha kiirus. Kindlasti tead ka, millest sõltub heli kõrgus ja kõlavärving ning oskad arvutada keha soojendamiseks vajalikku soojushulka.

Käesolev õpik viib Sind elektrinähtuste maailma. Just elektrilaenguga osakeste vastastikmõju ongi aluseks looduse mitmekesisusele. Paljud nähtused, mida Sa oled juba õppinud – valguse levimine, hõõrdumine, deformatsioon jt. – on elektrilise olemusega. Isegi ainevahetusprotsessid elusorganismides, organismide kasv ja areng toimuvad tänu elektrilistele jõududele.

Kuigi vanad kreeklased kirjeldasid elektrinähtusi rohkem kui 2000 aastat tagasi, kulus teadlastel sajandeid, et mõista nende olemust ja rakendada elekter inimese teenistusse. Tänapäeval on nii loomulik, et enamik meid ümbritsevatest seadmetest töötab elektri abil. Elekter valgustab tubasid, aitab toiduvalmistamisel ja majapidamistöödel ning pakub meeldivaid hetki raadiot kuulates või televiisorit vaadates. Elektrienergia kasutamine teeb meie elu mugavaks. Kuid kas Sa oled kunagi mõelnud ka sellele, mis on elektrivool, kuidas elektrienergiat saadakse, kuidas saab elektriga tööle panna niivõrd erineva otstarbega seadmeid?

Mehaanikas uuritakse suurte kehade liikumist. Soojusnähtusi seletatakse tibatillukeste, silmaga nähtamatute osakeste liikumise abil. Et seletada elektrinähtusi, tuleb tungida veelgi sügavamale aine sisemusse. Molekulid koosnevad aatomitest, need omakorda aatomituumadest ja elektronidest. Lisaks massile iseloomustab neid ka elektrilaeng. Elektriõpetuses tutvudki nähtustega, mis on põhjustatud elektrilaenguga osakeste liikumisest ja vastastikmõjust.

Käesolevas õpikus on kasutusel palju uusi mõisteid. Esmakordselt esinevad **mõisted, definitsioonid, seaduspärasused** ning **seadused** on trükitud **poolpaksus kirjas**.

Et õpitavast tekstist aru saada, tuleb leida sellest kõige olulisem. Sageli on mõni sõna või fraas nii tähtis, et selle mittemärkamisel võib terve lõigu mõte jääda selgusetuks. Olulised sõnad ja laused on tekstis alla kriipsutatud.

Olulisele juhivad tähelepanu ka teksti kõrval olevad ääreküsimused. Õppimisel, õpitu kordamisel ja kontrolltöödeks valmistumisel on kasulik juhinduda just neist.

Sõna "KOKKUVÕTE" järele on koondatud kõige olulisem eelnevast tekstist. Need laused on kasulik meelde jätta! Vajalike mõistete leidmisel tekstist on abiks märksõnastik õpiku lõpus.

Mustas kirjas tekst kajastab elektriõpetuse kursuse põhimaterjali. Sinises kirjas on esitatud nn. lisamaterjal, kus nähtusi ja seadmeid vaadeldakse veidi laiemalt või tutvustatakse füüsikuid ja nende avastusi.

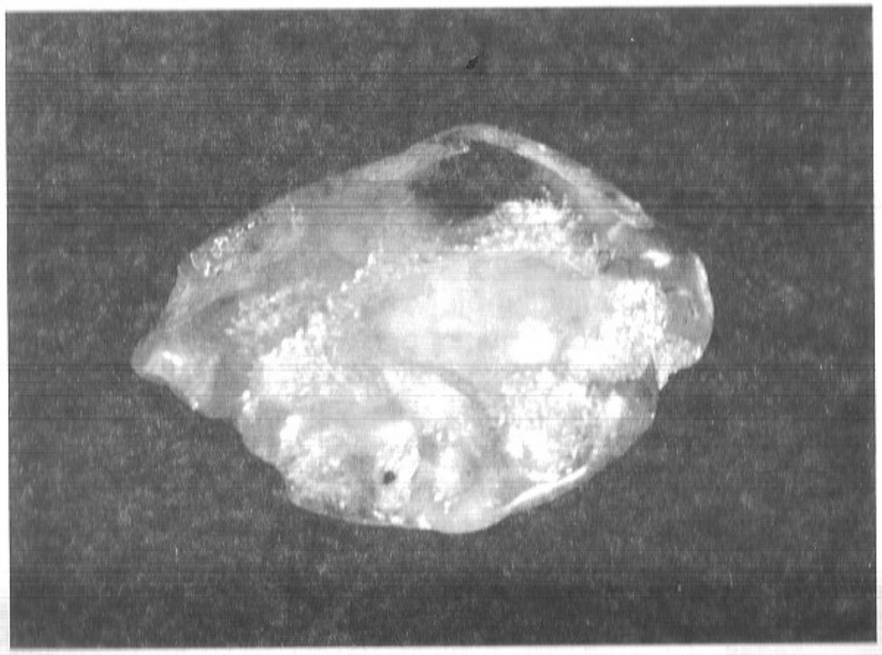
Iga õppetüki lõpus on mõned ülesanded enesekontrolliks. Neid lahendades saab selgeks, kas õppetükist on aru saadud ja kas uutest teadmistest ka tulu on. Plokkide viimased ülesanded on kohati eelnevatest keerulisemad. Need ülesanded on mõeldud eelkõige füüsikast huvitatutele.

Olen tänulik kõigile kolleegidele, kes õpiku valmimisele kaasa on aidanud. Eriti suur tänu kuulub aga dotsentidele Kalev Tarkpeale ja Henn Voolaiule ning Venda Pajule ja Enn Pärtelile, kes tutvusid käsikirjaga ning tegid väärtuslikke parandusettepanekuid.

Soovin kõigile õppijaile jõudu ja vastupidavust elektrinähtuste maailmaga tutvumisel.

Koit Timpmann

1 PEATÜK ELEKTRILAENGUD JA ELEKTRIVÄLI



Kindlasti oled pannud tähele, et kunstkiudu sisaldavad riideesemed liibuvad sageli ebameeldivalt vastu keha. Puhtad kuivad juuksed kleepuvad kammimisel kammi külge ega taha kuidagi soovikohaselt püsima jääda. Pimedas toas kampsunit seljast võttes või kassi kuiva käega silitades võib märgata isegi valgusesähvatusi ja kuulda ka praginat. Mõnikord võib tunda käes torkeid, märgata sädemeid ja kuulda praginat ka siis, kui pärast vaibal kõndimist puudutada oma kaaslast või veekraani. Kõigil neil juhtudel on tegemist elektrinähtustega.

Esimesena kirjeldas elektrinähtusi VI sajandil e. m. a. vanakreeka filosoof Thales (625–545 e. m. a.). Ta pani tähele, et villaga hõõrutud merevaik tõmbab enda külge udusulgi, juuksekarvu ja teisi kergeid esemeid.

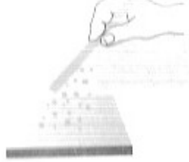
Möödus üle kahe tuhande aasta, kui Thalese kirjeldatud nähtust hakkas uurima inglise teadlane, kuninganna Elisabethi õukonnaarst William Gilbert (1544–1603). Ta avastas palju aineid, mis sarnaselt merevaiguga tõmbavad pärast hõõrumist enda poole teisi kehasid. Gilbert pidas kehade hõõrumisel tekkinud tõmbejõudu eriliseks loodusjõuks, millele andis nimeks elektrijõud.

William Gilbert – inglise füüsik, kuninganna Elisabethi õukonnaarst. Algatas elektri- ja magnetnähtuste teadusliku uurimise, ehitas ajaloos esimese elektroskoobi. Käsitas soojust kui keha aineosakeste liikumist.

Keha, mis mõjutab teisi kehi elektrijõuga, hakkas ta nimetama elektriseeritud kehaks. Sõna *elekter* tuleneb kreekakeelsest sõnast ελεκτρου – *elektron* – merevaik. Oli ju merevaigust keha esimene, mille juures pandi tähele elektrinähtusi.

Gilberti katsetest sai alguse elektrinähtuste teaduslik uurimine. Kuigi elektrinähtusi hakkasid uurima paljud teadlased, möödus veel kaks sajandit, kui avastati elektriliselt laetud kehade vastastikmõju seadus. Seda seadust kasutades saab arvutada ühe elektriseeritud keha poolt teisele elektriseeritud kehale mõjuva elektrijõu suuruse. Veel ei osatud aga vastata küsimusele, kuidas üks elektriseeritud keha mõjutab teist elektriseeritud keha. Sellele küsimusele saadi vastus 19. sajandi keskel, kui loodi teooria, mille kohaselt elektriseeritud kehade vastastikmõju vahendab neid kehi ümbritsev elektron, aineosake, mis ongi kõigi elektrinähtuste põhjustajaks.

Selles peatükis tuleb juttu elektriõpetuse kahest kõige tähtsamast mõistest – elektrilaengust ja elektriväljast.



1. KEHADE ELEKTRISEERUMINE. ELEKTRILAENG

- **Kuidas kehad elektriseeruvad?**
- **Mis iseloomustab elektriseeritud keha?**

Joonis 1.1. Siidiga hõõrutud klaaspulk tõmbab enda poole mitmesuguseid kehi.

Kui siidiga hõõrutud klaaspulk lähendada laual lebavatele väikestele paberitükikestele, hakkavad need "elama" (joonis 1.1). Paberitükikesed tõusevad servale püsti, osa neist lendab klaaspulgale ja liibub sellele, osa põrkub klaaspulgalt tagasi lauale. Siidiga hõõrutud klaaspulga võib lähendada ka näiteks kuivadele puhastele juustele või kraanist voolavale veejoale. Ka need tõmbuvad klaaspulga poole. Eelnevalt hõõrutud klaaspulga poole tõmbub isegi teravikul tasakaalustatud raske raudlatt. Kui samadele kehadele lähendada aga klaaspulk, mida pole hõõrutud, ei tõmba see enda poole ei paberitükikesi, juukseid, veejuga ega ka raudlatti.

Kirjeldatud katsetest ilmneb, et hõõrutud klaaspulgal on omadus, mida hõõrumata klaaspulgal ei ole. Hõõrutud klaaspulk tõmbab enda poole teisi kehasid. Selline omadus võib hõõrumise tulemusel tekkida ka paljudel teistel kehadel. Näiteks kustutuskummi, riide või paberiga hõõrutud pastapliiats ja plastjoonlaud tõmbavad samuti enda poole teisi kehasid.

1.1. Milline omadus on hõõrutud kehal?

Keha omadusi kirjeldatakse füüsikaliste suuruste abil. Hõõrumisel tekkinud keha omadust, tõmmata enda poole teisi kehasid, kirjeldatatakse **elektrilaengu** ehk **laengu** abil. **Keha, millel ön elektrilaeng, nimetatakse elektriliselt laetud** ehk **elektriseeritud kehaks**. Elektrilaeng on füüsikaline suurus. Elektrilaengul on mõõtühik, mingi arvuline väärtus ning seda saab mõõta. Keha elektrilaeng võib erinevatel juhtudel olla erineva suurusega.

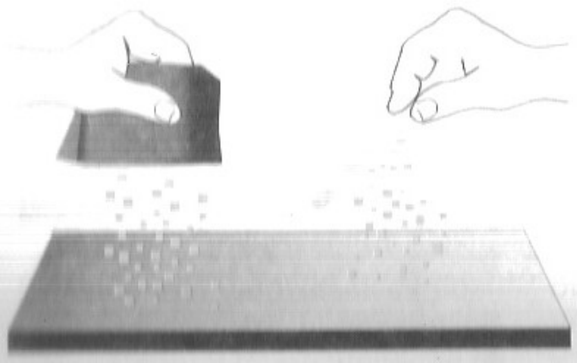
1.2. Millist keha omadust kirjeldatakse elektrilaengu abil?

Tavaliselt kehad ei ole elektriliselt laetud. Kehad võivad laaduda hõõrumisel. Klaaspulga ja siidi hõõrumisel laadub ka siid, sest ka siid tõmbab pärast hõõrumist enda poole paberitükikesi (joonis 1.2). Seega, hõõrumisel laaduvad mõlemad kokkupuutuvad kehad.

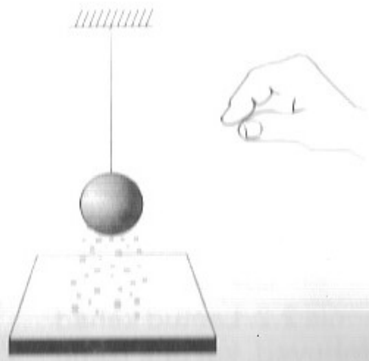
1.3. Millist keha nimetatakse elektriseeritud kehaks?

Kui elektriseeritud klaaspulgaga puudutada niidi otsas rippuvat metallkera ja lähendada see siis paberitükikestele, tõmbab ka metallkera paberitükikesi enda poole (joonis 1.3). Metallkeral tekkis samasugune omadus nagu laetud kehal. Järelikult omandas metallkera kokkupuutel laetud kehaga elektrilaengu. Seega, elektrilaeng võib kanduda laetud kehalt teistele kehadele, mille tulemusel need kehad laaduvad.

1.4. Mis juhtub, kui laetud kehaga puudutada teist keha?



Joonis 1.2. Hõõrumisel elektriseeruvad mõlemad kehad.

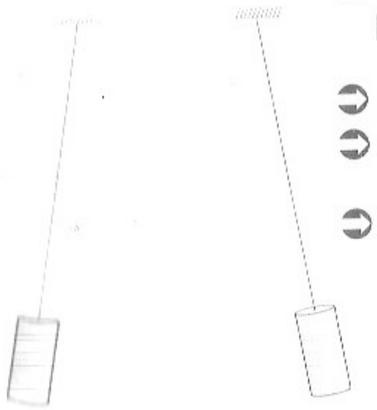


Joonis 1.3. Keha võib laaduda kokkupuutel laetud kehaga.

1. Miks "kleepub" sooja ahju vastu surutud ajaleht pärast riideharjaga hõõrumist ahju külge?
2. Miks kattub lakitud mööbli pind kiiresti tolmuga, kui seda pühkida puhta kuiva lapiga?
3. Miks liibub villase riidega hõõrutud täispuhutud õhupall vastu seina, kappi või mõnda muud eset?

2. ELEKTRISEERITUD KEHADE VASTASTIKMÕJU. KAHTE LIIKI LAENGUD

- **Mitu liiki elektrilaenguid on olemas?**
- **Kuidas mõjutavad üksteist samaliigiliste ja eriliigiliste laengutega kehad?**
- **Millest sõltub elektrijõu suurus?**



Joonis 2.1. Laetud kehad tõukuvad, kui mõlemad on saanud laengu elektriseeritud klaasilt.

2.1. Millest on põhjustatud elektriliselt laetud kehade vastastikmõju?

Joonis 2.2. Laetud kehad tõmbuvad, kui ühe laeng on pärit elektriseeritud klaasilt, teise laeng elektriseeritud merevaigult.

Elektriliselt laetud kehad tõmbavad enda poole laenguta kehi. Kuidas mõjutavad üksteist aga laetud kehad? Kas ka laetud kehade vahel esineb vastastikmõju ja kuidas see ilmneb?

Laetud kehade vastastikmõju võib uurida kahe teineteise lähedal niidi otsas rippuva õhukesest metallist (šokolaadipaberist) torukese abil. Kui puudutada torukesi elektriseeritud klaaspulgaga, need laaduvad ja tõukuvad teineteisest eemale (joonis 2.1). Seega, elektriliselt laetud kehad mõjutavad üksteist vastastikku. Kuna laenguta torukesed teineteisest eemale ei tõuku, siis võib järeldada, et laetud kehade vastastikmõju on põhjustatud nende elektrilaengutest.

Kui ühele torukesele anda elektrilaeng elektriseeritud klaasilt, teisele aga elektriseeritud merevaigult, siis laetud torukesed ei tõuku, vaid hoopis tõmbuvad (joonis 2.2). Seega laetud kehade vastastikmõju võib ilmneda ka nende kehade tõmbumisena. Paljude katsete tulemusena ongi selgunud, et elektriline vastastikmõju ilmneb alati kas laetud kehade tõmbumise või tõukumisena. Mingeid muid elektrilise vastastikmõju viise pole seni täheldatud.

Kuna laetud kehade vastastikmõju ilmneb kahel viisil, siis peavad elektrilaengud, mis vastastikmõju põhjustavad, olema erinevate omadustega. Laetud kehade vastastikmõju saab esineda kahel viisil siis, kui elektrilaenguid on kahte liiki.

Laetud torukesed tõukuvad, kui nende elektrilaengud on pärit ühelt ja samalt laetud kehalt. Seejuures ei ole oluline, kas torukesed on oma laengu saanud elektriseeritud klaasilt, merevaigult või plastjoonlaualt. Samalt laetud kehalt saadud elektrilaengud on samaliigilised. Järelikult, **samaliigilise elektrilaenguga kehad tõukuvad**.

Laetud torukesed tõmbuvad teineteise poole siis, kui üks neist on laengu saanud elektriseeritud klaasilt, teine aga elektriseeritud merevaigult. Et samaliigilise laenguga kehad tõukuvad, võib järeldada, et laetud klaasi ja merevaigu elektrilaengud on eriliigilised. **Eriliigilise elektrilaenguga kehad tõmbuvad**. Sageli kasutatakse väljendite *samaliigilised* ja *eriliigilised elektrilaengud* asemel ka väljendeid *samanimelised* ja *erinimelised elektrilaengud*.

Samadele järeldustele laetud kehade vastastikmõju kohta tuli 1733. aastal prantsuse luuisk Charles François Dufay (1698–1739). Tema arvates saab elektrinähtusi seletada siis, kui oletada, et elektrit on kahte liiki: klaasi ja merevaigu elekter. Dufay avastas, et sama liiki elektrilaenguid omavad kehad tõukuvad, erinevat liiki elektrilaenguid omavad kehad aga tõmbuvad.

Ameerika teadlase Benjamin Franklini (1706–1790) ettepanekul hakati eri liiki elektrilaenguid nimetama positiivseteks ja negatiivseteks. Näiteks positiivseks loetakse elektrilaengut, mis tekib klaasil selle hõõrumisel siidiga. Positiivset elektrilaengut tähistatakse märgiga "+", negatiivset laengut märgiga "–".

Et laetud kehad tõukuksid või tõmbuksid, peab kummalegi neist mõjuma jõud. Mida suuremad on niitide otsas rippuvatele samaliigilise laenguga torukestele mõjuvad jõud, seda kaugemale torukesed teineteisest tõukuvad. Elektrilise vastastikmõju suurust iseloomustatakse **elektrijõu** abil. **Elektrijõuks nimetatakse jõudu, millega üks laetud keha mõjutab teist laetud keha.**

Vaatleme, millest sõltub elektrijõu suurus. Niitide otsas rippuvad laetud torukesed tõukuvad siis, kui nad mõlemad on saanud elektrilaengu näiteks elektriseeritud klaasilt (joonis 2.3). Kui klaaspulk uuesti laadida ja puudutada torukesi, saavad need täiendava elektrilaengu ning tõukuvad teineteisest

2.2. Millest järeldub, et elektrilaenguid on kahte liiki?

2.3. Kuidas mõjutavad üksteist samaliigiliste laengutega kehad?

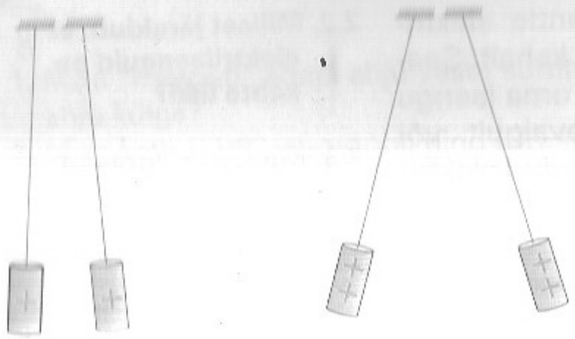
2.4. Kuidas mõjutavad üksteist eriliigiliste laengutega kehad?

2.5. Kuidas nimetatakse eri liiki elektrilaenguid?

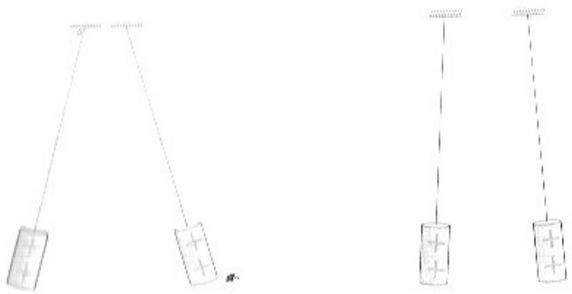
2.6. Millist jõudu nimetatakse elektrijõuks?

2.7. Millest sõltub elektrijõu suurus?

2.8. Mida näitab elektrilaeng?



Joonis 2.3. Mida suuremad on kehade elektrilaengud, seda kaugemale kehad teineteisest tõukuvad.



Joonis 2.4. Mida suurem on laetud kehade vaheline kaugus, seda vähem kehad teineteisest tõukuvad.

veelgi kaugemale. Järelikult kehade elektrilaengu suurenedes suurenevad ka elektrijõud, millega laetud kehad üksteist mõjutavad. **Mida suuremad on vastastikmõjus olevate kehade elektrilaengud, seda suuremad on neile kehadele mõjuvad elektrijõud.**

Sellest lähtuvalt võib öelda, et **elektrilaeng on füüsikaline suurus, mis näitab, kui tugevasti laetud kehad osalevad elektrilises vastastikmõjus.**

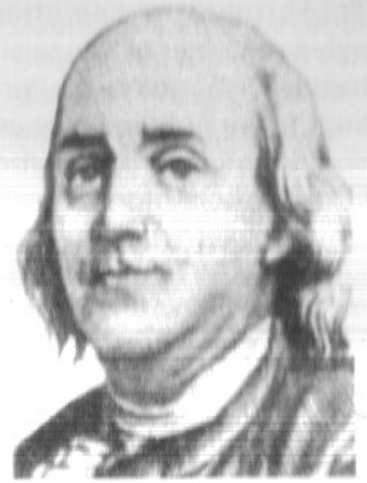
Elektrijõu suurus sõltub ka laetud kehade vahelisest kaugusest. Joonisel 2.4 kujutatud katses on niidite otsas rippuvad laetud torukesed paigutatud kummalgi juhul teineteisest erinevale kaugusele. Mõlemas katses on kehadel ühesuurune elektrilaeng. Kui laetud torukesed on riputatud teineteisest kaugele, on niitide kõrvalekalle väiksem kui juhul, mil torukesed on riputatud lähestikku. Järelikult, **laetud kehade vahelise kauguse suurenedes elektrijõud väheneb.**

1. Niidi otsas rippuv õhukesest metallist toruke tõmbub nii positiivse kui ka negatiivse laenguga keha poole. Kas toruke on laetud?
2. Negatiivse laenguga keha tõmbab enda poole teist laetud keha. Mis liiki laeng on teisel kehal?
3. Positiivse laenguga klaaspulk tõukab laetud keha. Mis liiki elektrilaeng on kehal?
4. Miks vahel mõned riideesemed liibuvad vastu keha?
5. Elektriseeritud klaaspulk lähendati paberitükikestele. Paberitükikesed tõmbusid klaaspulga külge, osa neist lendas aga sealt minema. Selgita nähtust!

BENJAMIN FRANKLIN – FÜÜSIK JA RIIGIMEES

Ameerika füüsik ja riigimees Benjamin Franklin sündis 17. jaanuaril 1706. aastal Bostonis seebi- ja küünlameistri perekonna viieteistkümnenda lapsena. Perekonna raske majandusliku olukorra tõttu sai ta koolis käia ainult kaks aastat. Oma laialdased teadmised hankis ta põhiliselt iseõppimise teel.

Franklin hakkas teadusega tegelema alles neljakümneaastaselt. Ta uuris soolusnähtusi, tegeles okeanograafia ja meteoroloogiaga. Tema meelis-



Benjamin Franklin

tegevuseks kujunes aga elektrinähtuste – elektrisädeme ja välgu uurimine. Franklin oletas, et välk ja elektrisäde on oma olemuselt sarnased – ". . . nagu välk, nii ka võimas elektrisäde võib tappa loomi, sulatada metalle ja kutsuda esile fosfori lõhna". Välgu ja elektrisädeme sarnasuse tõestamiseks korraldas Franklin üliohtliku katse. Ta lasi piksel lõõa tuulelohe märga nööri, mille otsas oli suur võti. Kuna võtme ja selle läheduses olnud maapinnaga ühendatud raudesemete vahele tekkis säde, siis oligi välgu elektriline olemus tõestatud.

Enne tekkis uus probleem, kas ka välk nagu elektrisädegi tõmbub teraviku poole. Franklini ettepanekul paigutati 1750. aastal Philadelphia linnas ühe kõrge torni tippu välgu puudmiseks pikk teravikuga raudvarras. Viimane oli traadi abil ühendatud maaga. Välk leidi raudvardasse, Franklin aga saavutas ülemaailmse kuulsuse piksevarda leiutajana. Munseas, piksevarras päästis hiljem hävingust ka tema oma maja.

Franklin arendas edasi Dufay elektriteooriat ning pani oma töödega aluse elektrostaatikale. **Elektrostaatika on füüsika osa, mis uurib paigalolevate laetud kehade ajas muutumatut vastastikmõju.** Franklini teooria järgi on mõlemat liiki elektrilaengud üheainsa elektriliigi ülejääk või puudujääk. "Kehad, mida hõõrutakse, tombavad hõõrumise hetkel enda poole elektrituld. Nad võtavad seda hooruvalt kehalt. Samas on need kehad nous saadud tuld ära andma igale teisele kehale, millel seda vähem on. Kehad, millel on elektrituld normaalse olukorraga võrreldes liiast, on positiivselt laetud. Kehad, millel on elektritule puudujääk, sest on seda kuhugi ära andnud, on negatiivselt laetud. Kehad, millel normaalse olukorraga võrreldes ei ole elektritule puudujääki ega ülejääki, on elektriliselt neutraalsed. Elektriseeritud kehade ühendamisel liigub elektrituli alati kehalt, kus seda on rohkem, kehale, kus seda on vähem. ... Elektritulel on kolm tähtsat omadust: võime levida kõikjal; elektritule osakeste vastastikune tõukumine; elektrilise aine tugev tombumine tavalise aine poole. ... Kui keha on positiivselt laetud, koguneb kogu liigne elektrituli keha välispinnale ja moodustab keha ümber eilise *elektriatmosfääri* ... ".

Kujutlus laetud keha ümbritsevast "elektriatmosfäärist" on sarnane otte kujutlusega elektrivaljast, mille abil laetud kehade vastastikmoju hakati selgitama alles sada aastat hiljem. Franklini teooriast järeldub, et *elektrituli voib liikuda ainult positiivse laenguga kehalt negatiivse laenguga kehale*. Seo järeldus võeti aastaid hiljem aluseks elektrivoolu kokkuleppelise suuna määramisel.

Franklin avaldas oma tööde tulemused 1751. aastal raamatus *"Experiments and Observations on Electricity"* (*"Eksperimente ja vaatlusi elektrist"*). Raamat toi talle esimese ameerika teadlasena rahvusvahelise tunnustuse.

Juba nooruses hakkas Franklin tegelema poliitikaga. 18. sajandi kolmekümnendatel aastatel esitas ta plaani ühtse Ameerika riigi moodustamiseks.

Tol korral lükati see ettepanek tagasi. Alates 1757. aastast esindas ta Pennsylvaniat, hiljem ka teisi ameerika kolooniaid Inglise valitsuse juures ning töötas diplomaadina Pariisis. Franklin sõlmis Inglismaa vastase liidu Prantsusmaaga ja hiljem Ameerika rahulepingu Inglismaaga. Koos Thomas Jeffersoniga oli Franklin Ameerika Iseseisvusdeklaratsiooni põhilisi koostajaid. Franklin on Ameerika esimese avaliku raamatukogu – Philadelphia Raamatukogu, Ameerika Filosoofia Ühingu ning Pennsylvania Ülikooli üks asutajatest.

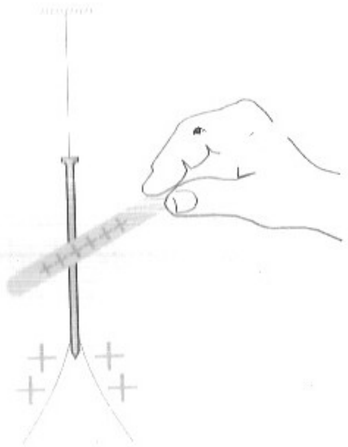
Benjamin Franklin suri 1791. aastal.

Selle peatüki järgmistes õppetükkides käsitletakse elektrinähtusi seisukohalt, mis on tunnustatud kaasajal. Sulle jääb voimalus võrrelda Franklini mõtteviisi nüüdisaegsega.

3. ELEKTROSKOOP. JUHID JA MITTEJUHID

➲ **Kuidas töötab elektroskoop?**

➲ **Mis eristab elektrijuhti mittejuhist?**



Joonis 3.1. Paberiribakesed tõukuvad, sest neil on samaliigilised elektrilaengud.

3.1. Milleks kasutatakse elektroskoopi?

3.2. Millisel nähtusel põhineb elektroskoobi töö?

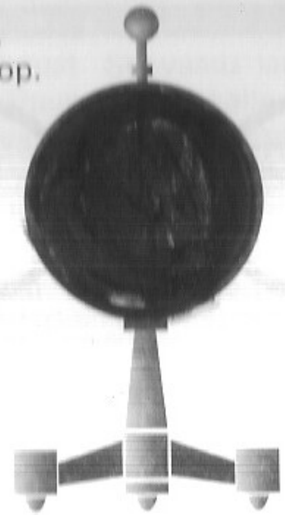
3.3. Milline on elektroskoobi ehitus?

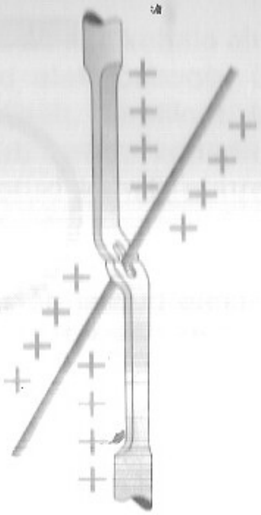
Elektroskoop. Kas kehal on elektrilaeng või mitte, saab kindlaks teha lihtsa omavalmistatud seadme abil. Niidi otsas rippuva suure raudnaela terava otsa külge on plastiliiniga kinnitatud kaks samade mõõtmetega õhukesest paberist kitsast riba. Otsapidi naela külge kinnitatud paberiribad ripuvad teineteisega paralleelselt. Kui puudutada naela laetud kehaga, kandub osa elektrilaengust naelale ja sealt paberiribakestele. Paberiribakesed omandavad samaliigilised elektrilaengud ja tõukuvad teineteisest eemale (joonis 3.1). Kui naelale anda täiendav elektrilaeng, suureneb paberiribakeste kalle veelgi. Mida suurem elektrilaeng on seadmele antud, seda suurem on ka paberiribakeste kalle vertikaalasendist.

Samal põhimõttel töötab **elektroskoop – seade, millega saab kindlaks teha, kas keha on laetud või mitte.** Elektroskoobi töö põhineb samaliigilise elektrilaenguga kehade tõukumisel. Elektroskoobi metallist kesta esi- ja tagakülg on klaasist. Kesta sees asetseb osutiga metallvarras (joonis 3.2). Osuti keskpunkt on kinnitatud metallvarda külge nii, et osuti võib varda suhtes vabalt pöörduda. Metallvarras on elektroskoobi kestast eraldatud plastkorgiga.

Elektroskoop laadub, kui selle varrast puudutada laetud kehaga. Kuna metallvarras ja osuti omandavad samaliigilise elektrilaengu, siis osuti otsad tõukuvad vardast eemale (joonis 3.3). Mida suurem on elektroskoobi elektrilaeng, seda suurem on osuti kalle. Osuti kõrvalekalde paremaks jälgimiseks on elektroskoobi kestale tehtud jaotised.

Joonis 3.2. Elektroskoop.





Joonis 3.3. Elektroskoobi osuti otsad tõukuvad vardast, sest osuti ja varda elektrilaengud on samaliigilised.

3.4. Kuidas sõltub elektroskoobi osuti kalle elektroskoobi laengu suurusest?

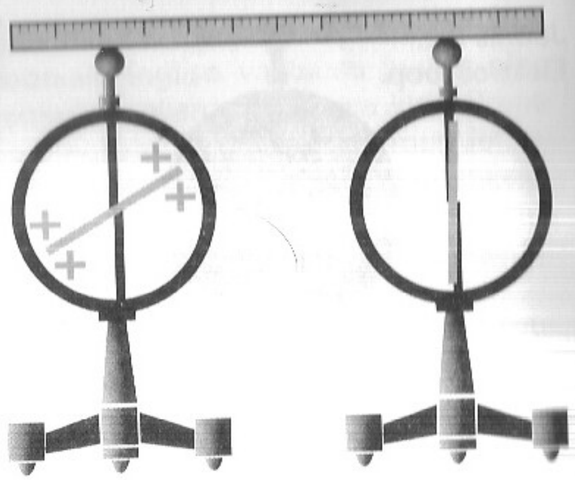
Juhid ja mittejuhid. Teatavasti võib elektrilaeng kanduda ühelt kehalt teisele. Kas elektrilaengu ülekandel on õluline ka see, mis ainest need kehad on?

Seda on lihtne uurida katse abil. Asugu kõrvuti laetud ja laadimata elektroskoop. Kui elektroskoobid metallvarda abil ühendada, kaldub kõrvale ka teise elektriskoobi osuti, esialgselt laetud elektroskoobi osuti kõrvalekalle aga väheneb (joonis 3.4). Selline katse tulemus näitab, et osa elektrilaengust kandub mööda metallvarrast laetud elektroskoobilt laadimata elektroskoobile.

Kui laetud ja laadimata elektroskoobid ühendada aga näiteks plastjoonlaua abil, siis teise elektroskoobi osuti kõrvale ei kaldu (joonis 3.5). Teine elektroskoop ei laadu. Mööda plastjoonlauda ei kandu elektrilaeng ühelt elektroskoobilt teisele.

Joonis 3.4. Mööda metallvarrast kandub osa elektrilaengust laetud elektroskoobilt laadimata elektroskoobile.

Joonis 3.5. Mööda plastjoonlauda elektrilaeng edasi ei kandu.



3.5. Millist ainet nimetatakse elektrijuhiks?

Ained ja nende segud liigitatakse elektrijuhtideks ja mittejuhtideks. **Elektrijuhiks nimetatakse ainet või ainete segu, mida mööda elektrilaeng võib kanduda ühelt kehalt teisele.** Juhtideks on kõik metallid ning hapete, soolade ja leeliste vesilahused. Ka Maa ja inimese keha on elektrijuhid.

3.6. Millist ainet nimetatakse mittejuhiks?

Mittejuhiks ehk dielektrikuks (ka isolaatoriks) nimetatakse ainet või ainete segu, mida mööda elektrilaeng ei kandu ühelt kehalt teisele. Mittejuhid on merevaik, klaas, kvarts, marmor, kummi, eboniit (suure väävlisisaldusega kummi), siid, plastmassid, petrooleum, puhas vesi, õhk jt.

Kui laetud elektroskoobi metallvarrast puudutada käega, kaotab elektroskoop laengu. Elektrilaeng kandub elektroskoobilt inimesele. Laetud elektroskoop tühjeneb ka siis, kui selle varras ühendada traadi abil Maaga. Sel juhul kandub elektrilaeng laetud elektroskoobilt Maale. **Laetud keha ühendamist elektrijuhi abil Maaga nimetatakse maandamiseks.**

3.7. Mida nimetatakse maandamiseks?

Laetud ja laadimata elektroskoopide ühendamisel jaguneb kummalegi elektroskoobile osa elektrilaengust. Laetud elektroskoobi ühendamisel Maaga, kandub aga elektroskoobi kogu laeng Maale. Kuidas seda selgitada?

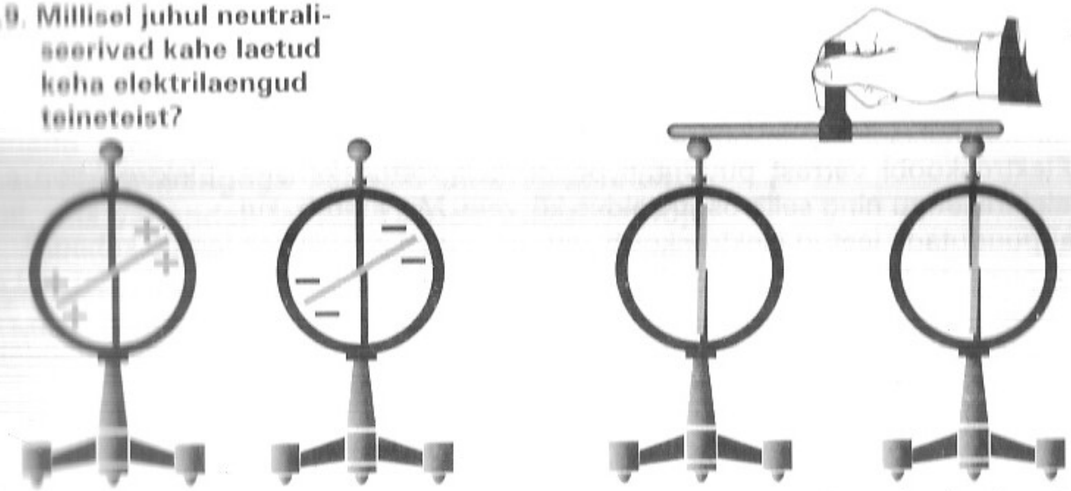
3.8. Kuidas sõltub laetud kehalt laadimata kehale ülekandunud laengu suurus nende kehade mõõtmetest?

Kaks elektroskoopi on täpselt ühesuguste mõõtmetega. Kui ühendada laetud ja laadimata elektroskoobid, võtavad mõlema osutid ühesuguse kõrvalekalde (joonis 3.4). Seega jaguneb kummalegi elektroskoobile pool laetud elektroskoobi laengust. Kui laetud elektroskoop ühendada aga väikese metallkeraga, väheneb elektroskoobi osuti kalle suhteliselt vähe. Järelikult kandub väikesele kehale ainult väike osa elektroskoobi elektrilaengust. Seevastu laetud elektroskoobi ühendamisel suure metallkeraga, väheneb osuti kalle oluliselt. Järelikult, laetud kehalt teisele kehale ülekanduva laengu suurus sõltub nende kehade mõõtmetest. Suurele juhtivast ainest kehale kandub laetud kehalt suurem osa elektrilaengust kui väikesele kehale.

Inimene on elektrijuht. Oma mõõtmetelt on inimene palju suurem suurest metallkerast. Kui inimene puudutab laetud elektroskoopi, kandub inimesele suur osa elektroskoobi laengust. Elektroskoobile endale jääb nii väike elektrilaeng, et selle mõjul osuti kõrvale ei kaldu. Kuna Maa on inimesest palju suurem, siis laetud elektroskoobi ühendamisel Maaga, kandub elektroskoobi kogu elektrilaeng Maale.

Olgu kahel ühesugusel elektroskoobil erineva suurusega samaliigilised elektrilaengud. Sel juhul on elektroskoopide osutite kalded erinevad. Kui elektroskoobid juhi abil ühendada, võtavad mõlema seadme osutid sama kõrvalekalde. Seejuures ühe elektroskoobi osuti kalle väheneb, teise kalle aga suureneb. Järelikult kandus osa elektrilaengust suurema laenguga elektroskoobilt teisele elektroskoobile ning pärast seda on nende laengud ühesuurused. Samaliigilise laenguga elektroskoopide ühendamisel jaotub kummalegi elektroskoobile pool neil olnud laengu suurusest.

3.9. Millisel juhul neutraliseerivad kahe laetud keha elektrilaengud teineteist?



Joonis 3.6. Sama suurusega eriliigilised elektrilaengud neutraliseerivad teineteist.

Olgu kahel elektroskoobil ühesuurused eriliigilised elektrilaengud. Kui elektroskoobid juhi abil ühendada, kaotavad mõlemad seadmed oma laengu (joonis 3.6). Järelikult, ühesuuruste eriliigiliste elektrilaengutega kehade ühendamisel nende elektrilaengud kompenseeruvad ehk neutraliseerivad teineteist ning kehad kaotavad elektrilaengu.

1. Puhaste kuivade juuste kammimisel kamm elektriseerub. Miks ei elektriseeru kamm märgade juuste kammimisel?
2. Miks on elektrikatsetes kasutatavad kerad ja torukesed valmistatud metallist?

3. Miks riputatakse elektrikatsetes kasutatavad õhukesest metallist torukesed üles siid- või kapronniidi abil?
4. Miks tehakse elektroskoobi varras metallist?
5. Miks eraldatakse elektroskoobi varras korpusest plastkorgiga?
6. Miks kaotab laetud elektroskoop laengu, kui puudutada selle varrast sõrmega?
7. Miks kaotab elektriseeritud keha maandamisel kogu oma laengu?

PRAKTILISI ÜLESANDEID

Tee endale naelast ja paberiribadest lihtne elektroskoop. Kontrolli, kas see töötab.

1. Hõõru erinevaid kehasid ja tee omavalmistatud elektroskoobi abil kindlaks, kas nad on laetud või mitte. Kirjelda oma tegevust!
2. Tõesta omavalmistatud elektroskoobi abil katseliselt, et hõõrumisel elektriseeruvad mõlemad kehad. Kirjelda oma tegevust!
3. Lae omavalmistatud elektroskoop ja uuri, millised järgnevalt nimetatud esemetest on valmistatud laenguid juhtivast, millised mittejuhtivast ainest: puust joonlaud, kirjaklamber, kamm, pastapliiatsi südamik, võti, pliiatsitera, paberileht, kustutuskumm. Kirjelda oma tegevust!
4. Kasutades omavalmistatud elektroskoopi, uuri, kas hõõrumise teel on võimalik elektriseerida suurt naela või metallpulka. Mida tuleks teha, et see õnnestuks?

PROBLEEME

1. Kuidas saab laetud elektroskoobi laengut vähendada esialgsest ühe neljandikuni? Milliseid katsevahendeid on selleks tarvis?
2. Elektroskoobi varrast puudutati positiivselt laetud kehaga. Elektroskoop sai elektrilaengu ning selle osuti kaldus kõrvale. Mis juhtub, kui
   a) puudutada laetud elektroskoobi varrast uuesti positiivselt laetud kehaga?
   b) puudutada positiivselt laetud elektroskoobi varrast negatiivselt laetud kehaga?
3. Kapronniidi otsas ripub õhukesest metallist toruke. Kuidas teha katsevahendeid kasutamata kindlaks, kas toruke on laetud või mitte?

4. ELEKTRIVÄLI

➲ **Mis ümbritseb elektrilaenguga keha?**

➲ **Mis on elektrivälja põhitunnus?**

Laetud kehad mõjutavad üksteist: nad kas tõmbuvad või tõukuvad. Laetud kehade vastastikmõju võib ilmneda õhus, mistahes gaasis, õlis, petrooleumis, isegi õhutühjas ruumis jne.

Teatavasti saab keha hakata liikuma ainult mingi teise keha mõjul. Näiteks paigalolev kelk hakkab liikuma, kui seda tõmmata või tõugata. Keha mõju teisele kehale võib vahendada ka mingi kolmas keha. Näiteks kelgu saab

Looduses esineb ka selliseid olukordi, kus vastastikmõju vahendaja kahe keha vahel nagu puuduks. Oksa küljest lahti tulnud õun kukub maha. Me teame, et Maa tõmbab õuna enda poole, kuid Maa ja õuna vahel ei paista olevat mingit keha, mis tõmmet vahendaks. Planeedid tiirlevad ümber Päikese, kuid Päikese ja planeetide vahel valitseb hoopis tühjus.

Sarnase olukorraga puutume kokku ka siis, kui väätleme elektriseeritud kehade vastastikmõju. Laetud kehad mõjutavad üksteist, olgugi et nad pole kokkupuutes ning puudub ka mingi kolmas keha, mis vahendab nende vastastikmõju. Mis viisil siis laetud kehad mõjutavad üksteist?

4.1. Kes võttis kasutusele elektrivälja mõiste?

Vastuse sellele küsimusele andsid oma töödes inglise füüsikud Michael Faraday (1791–1867) ja James Clerk Maxwell (1831–1879). Faraday oli esimene teadlane, kes väitis, et laetud kehade vastastikmõju vahendab neid kehasid ümbritsev **elektriväli**. Faraday ideedele tuginedes lõi Maxwell umbes kakskümmend aastat hiljem ühtse elektromagnetvälja teooria, milles elektri- ja magnetnähtused vaadeldakse koos.

4.2. Mis ümbritseb laetud keha?

Faraday ideede kohaselt erineb elektriseeritud kehade ümbrus elektriseerimata kehade ümbrusest. **Elektrilaenguga kehasid ümbritseb elektriväli, mis vahendab laetud kehade vastastikmõju.** Paigaloleva laetud keha elektrivälja nimetatakse **elektrostaatiliseks väljaks**.

Meie ümber on alati midagi: maapind, õhk, teised inimesed, loomad, taimed, majad, mööbel nii koolis kui kodus jne. Kõik need kehad koosnevad molekulidest ja aatomitest ehk teiste sõnadega – aineosakestest. Meid ümbritseb aineline keskkond.

4.3. Kas inimene tunnetab oma meeleorganitega paigalseisva laetud keha elektrivälja?

Elektriväli ei koosne aineosakestest, ei molekulidest ega aatomitest. Inimene isegi ei tunneta oma meeleorganitega paigaloleva laetud keha elektrivälja. Sellist elektrivälja me ei näe, ei kuule, ei suuda kompida, haista ega maitsta. Seetõttu ei saa me oma meeltele tuginedes ka öelda, kas ruumis, kus me viibime, on elektrostaatiline väli või mitte.

4.4. Mis on elektrivälja põhitunnuseks?

4.5. Millisel juhul on elektriväli tugev, millisel juhul nõrk?

Elektrivälja "tunnetab" laetud keha. Just laetud keha abil saabki kindlaks teha, kas ruumis on või ei ole elektrivälja. **Elektrivälja mistahes punktis mõjub laetud kehale alati kindla suuruse ja suunaga elektrijõud**, mis paneb selle keha liikuma. See on

elektrivälja põhitunnus. Seega, kui laetud kehale mõjub elektrijõud, siis see keha asub kindlasti mingi teise laetud keha elektriväljas.

Niitide otsas rippuvad õhukesest metallist torukesed tõukuvad teineteisest just sel hetkel, kui neid puudutada laetud klaaspulgaga. Sellest järeldub, et laetud kehade vastastikmõju vahendav elektriväli levib väga suure kiirusega. Vaakumis näiteks on elektrivälja levimise kiirus võrdne valguse levimise kiirusega (300 000 km/s).

Teatavasti väheneb elektrijõud laetud kehade vahelise kauguse suurenedes. Laetud kehast kaugenedes nõrgeneb ka elektriväli. Elektriväli on tugev laetud keha läheduses, laetud kehast kaugel on elektriväli nõrk.

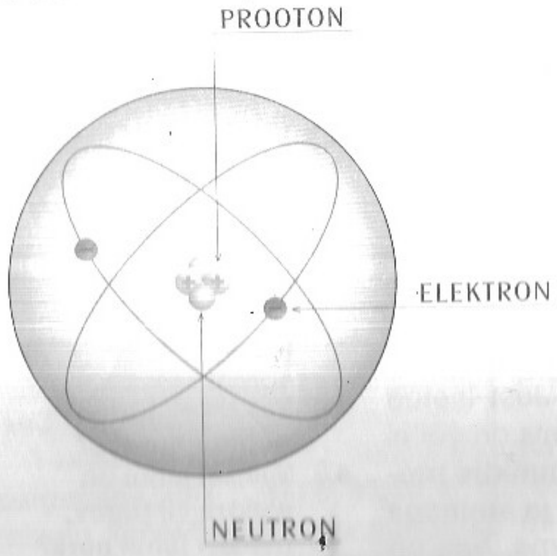
Laetud kehadele mõjuv elektrijõud sõltub ka nende kehade laengute suurusest. Suure laenguga kehad mõjutavad üksteist palju suurema elektrijõuga kui väikese laenguga kehad. Ka laetud keha ümbritsev elektriväli on seda tugevam, mida suurem on keha elektrilaeng.

Elektrivälja mõiste võeti füüsikas kasutusele 19. sajandi keskel. 20. sajandi algul hakati välja mõiste abil seletama ka kehade gravitatsioonilist vastastikmõju. Kehade gravitatsioonilist vastastikmõju vahendab gravitatsiooniväli. Oksalt lahti tulnud õun kukub Maa poole raskusjõu mõjul. Raskusjõud on aga Maa gravitatsiooniväljas kehale mõjuv jõud, nii nagu elektrijõud on elektriväljas laetud kehale mõjuv jõud.

5. AATOMÍMUDEL. ELEMENTAARLAENG

- **Millistest osakestest koosneb aatom?**
- **Mida nimetatakse elementaarlaenguks?**
- **Kuidas on keha elektrilaengu suurus seotud elementaarlaenguga?**

19. sajandi lõpuni arvati, et aatomid on looduse algosakesed. Usuti, et maailm koosneb igavestest ning muutumatutest aineosakestest – aatomitest. See arvamus muutus, kui 1897. aastal avastati elektron.



Kaasaegse ettekujutuse kohaselt koosneb aatom üliväikesest raskest **tuumast** ja selle ümber suure kiirusega tiirlevatest **elektronidest**, mis moodustavad elektronkatte (joonis 5.1). Elektronid paiknevad elektronkattes kihtidena. Aatomi tuum koosneb **prootonitest** ja **neutronitest**. Kõigil prootonitel on täpselt ühesuurune mass. Ka kõigi neutronite mass on ühesuurune. Prootoni ja neutroni massid on ligilähedaselt võrdsed. Elektron on prootonist ja neutronist palju kergem. Elektroni mass on umbes 1840 korda prootoni massist väiksem ja seetõttu võib öelda, et praktiliselt kogu aatomi mass on koondunud aatomi tuuma.

Kõige väiksemate aatomituumade läbimõõt on umbes 10^{-15} m. Tuuma mõõtmetega võrreldes asuvad elektronid tuumast väga kaugel. Aatomi läbimõõt on tuuma läbimõõdust umbes 100000 korda suurem, seega 10^{-10} m. Kui näiteks vesiniku aatomituuma läbimõõt oleks niisama suur kui 20-sendisel mündil, tuleks tervet vesiniku aatomit kujutleda kerana, mille läbimõõt oleks kaks kilomeetrit. Tuuma ja elektronide vaheline ruum on ainest tühi. Selles ruumis on aga elektriväli. Kui elektronid saaks aatomites paigutada tihedalt vastu tuumasid ja sellised tihendatud aatomid saaks pakkida üksteise kõrvale, mahuks ühe kuupmillimeetri suurusesse tuumi nii palju aatomeid, kui kuulub miljonile täiskasvanud inimesele. Sellise kokkupakkimise korral võiks nööpnõela peasse mahutada kogu Eestimaa rahva. Aatomi mass on väga väike. Vesiniku aatomi mass on näiteks ouna massist niipalju kordi väiksem, kui mitu korda on ouna mass väiksem maakera massist. Kuidas aga kujutada ette seda, kui suur on maakera mass?

Lisaks massile iseloomustatakse aatomi koostisosi ka elektrilaengu abil. Elektrilaenguga osakesteks on elektron ja prooton. Looduses on olemas ka osakesi, millel elektrilaengut ei ole. Üheks elektrilaenguta osakeseks on neutron. Elektrilaenguta osake ei saa kunagi teise osakesega olla elektrilises vastastikmõjus.

5.1. Millistel aatomi koosseisu kuuluvatel osakestel on elektrilaeng?

Kõigi elektronide ja prootonite elektrilaeng on täpselt ühesuurune. See on vähim looduses teadaolevatest elektrilaengutest. **Vähimat looduses eksisteerivat elektrilaengut nimetatakse elementaarlaenguks.** Prootoni ja elektroni elektrilaengud on küll sama suurusega, kuid eriliigilised. Kokkuleppe kohaselt loetakse elektroni laengut negatiivseks ja prootoni laengut positiivseks. Öeldakse ka, et elektroni laeng on võrdne –1 elementaarlaenguga, prootoni elektrilaeng aga +1 elementaarlaenguga. Kuna neutronil elektrilaeng puudub, siis võib öelda, et neutroni elektrilaeng võrdub nulliga.

5.2. Mida nimetatakse elementaarlaenguks?

5.3. Kui suured ja mis liiki on elektroni ja prootoni elektrilaengud?

Prootonite positiivse laengu tõttu on aatomituumal positiivne elektrilaeng. Tuuma elektrilaeng on suuruselt võrdne kõikide prootonite elektrilaengute summaga. Et iga keemilise elemendi aatomituumades on kindel arv prootoneid, on tuuma elektrilaeng keemilise elemendi peamiseks iseloomustajaks.

5.4. Millega võrdub aatomi tuuma laeng?

Elektronide arv aatomis on võrdne prootonite arvuga tuumas. Näiteks vesiniku aatomituumas on üks prooton ja elektronkattes üks elektron, liitiumi

5.5. Miks aatomil elektrilaeng puudub?

aatomituumas on kolm prootonit ja selle aatomi elektronkattes on 3 elektroni, raua aatomis on prootoneid ja elektrone 26 jne. Kuna prootoni ja elektroni elektrilaengud on suuruselt võrdsed, on aatomi elektronkatte negatiivne laeng suuruselt võrdne aatomituuma positiivse laenguga. Järelikult, **aatom tervikuna on elektriliselt neutraalne** ehk teisiti öeldes, **aatomil puudub elektrilaeng**.

5.6. Kuidas tekib neutraalsest aatomist positiivne ioon ja negatiivne ioon?

Aatom võib elektrone loovutada või neid juurde haarata. Elektrone loovutanud aatomist tekib **positiivne ioon**, millel on positiivne elektrilaeng. Kui aatom haarab elektrone juurde, tekib **negatiivne ioon**, millel on negatiivne elektrilaeng.

5.7. Millisel kehal on positiivne, millisel negatiivne elektrilaeng?

Keha on tavaliselt elektriliselt neutraalne. Neutraalses kehas on elektrone sama palju kui prootoneid. Kui kehas on elektrone rohkem kui prootoneid, on kehal negatiivne elektrilaeng. Vastupidisel juhul, kui kehas on elektrone vähem kui prootoneid, on kehal positiivne elektrilaeng. Järelikult, elektriseeritud kehal on neutraalse kehaga võrreldes kas elektronide ülejääk või puudujääk.

5.8. Kuidas on laetud keha elektrilaengu suurus seotud elementaarlaenguga?

Kuna iga elektroni laeng on suuruselt võrdne elementaarlaenguga, siis **laetud keha elektrilaeng on võrdne elementaarlaengute summaga**. Laetud keha elektrilaeng võib olla võrdne näiteks saja, tuhande, miljoni või veelgi suurema arvu elementaarlaenguga. Keha elektrilaeng ei saa aga kunagi olla võrdne 2,3 või 100,7 jne. elementaarlaenguga. Seega, keha **elektrilaeng on elementaarlaengute täisarvkordne**.

Keha elektrilaengut tähistatakse tähega q, elementaarlaengut tähega e. Elektriseeritud keha elektrilaengu q saab avaldada elementaarlaengute kaudu järgmiselt:

$$q = \pm ne,$$

kus tähega n on tähistatud elektronide arv, mis kehal on liiast või puudu võrreldes neutraalse kehaga.

Kuna elementaarlaenguid on ainult kahte liiki, saab elektriseeritud kehal olla kas positiivne või negatiivne elektrilaeng. Märki "+" kasutatakse eeltoodud valemis sel juhul, kui kehal on positiivne laeng, märki "–" negatiivse laenguga keha korral.

5.9. Mis on elektrilaengu ühikuks?

Elektrilaengu ühikuks on **1 kulon** (tähis **1 C**). Selle ühiku nimetus tuleneb prantsuse füüsiku Charles Augustin de Coulombi (1736–1806) nimest, kes avastas elektriseeritud kehade vastastikmõju seaduse.

Elektrilaeng suurusega 1 C on väga suur laeng. Elektroni laeng on sellest palju väiksem. Elektroni laengu ehk elementaarlaengu väärtuseks on vaid $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

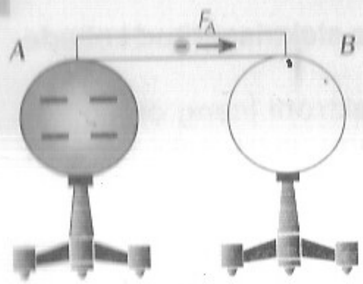
Elektrilaeng on füüsikaline suurus, mis iseloomustab laetud kehade elektrilise vastastikmõju tugevust. Elektrilaengu tähiseks on q.
Keha elektrilaeng on elementaarlaengu täisarvkordne $q = \pm ne$.
Elektrilaengu ühikuks on 1 kulon, lühendatult 1 C.
Keha elektrilaengu olemasolu saab kindlaks teha elektroskoobiga.

1. Mis liiki elektrilaeng on: aatomituumal, elektronil, neutronil, positiivsel ioonil, prootonil, neutraalsel aatomil, negatiivsel ioonil?
2. Lämmastiku aatomi tuumas on 14 osakest. Tuuma ümber tiirleb 7 elektroni. Mitu neutronit on lämmastiku aatomi tuumas?
3. Naatriumi aatomi tuumas on 12 neutronit. Mitu osakest on aatomi tuumas, kui naatriumi aatomis on 11 elektroni?
4. Naatriumi aatom kaotab ühe elektroni. Kuidas nimetatakse naatriumi aatomist lekkinud osakest? Mis liiki ja kui suur on selle osakese elektrilaeng?
5. Miks ei saa laetud keha elektrilaeng olla võrdne 2,3 või 100,7 elementaarlaenguga?
6. Teeme mõttelise katse. Ühendame laetud metallkera juhi abil teise niisama suure neutraalse metallkeraga. Pärast ühendamist jaotub kummalegi metallkerale pool laetud kera esialgsest laengust. Maandame hetkeks teise kera ja ühendame siis kerad uuesti omavahel. Nüüd jaotub mõlemale kerale laeng, mis on neli korda väiksem esialgu esimesel keral olnud laengust. Maandame jälle hetkeks teise kera ning ühendame kerad uuesti. Kas sellisel viisil saab esimesel metallkeral olevat elektrilaengut jaotada lõpmatult?

6. ELEKTRILAENGU ÜLEKANNE. HÕÕRDEELEKTER. LAENGU JÄÄVUSE SEADUS

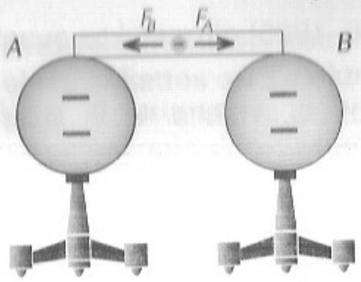
Kuidas kandub elektrilaeng laetud kehalt neutraalsele kehale?
Kuidas kehad hõõrumisel elektriseeruvad?
Milles seisneb elektrilaengu jäävuse seadus?

Elektrilaengu ülekanne. Kui laetud keha puutub kokku neutraalse juhtivast ainest kehaga, kandub osa elektrilaengust laetud kehalt laadimata kehale. Laetud keha elektrilaeng seejuures väheneb, neutraalne keha aga laadub. Vaatleme, kuidas toimub laengu ülekanne 1) negatiivse laenguga kehalt neutraalsele kehale, 2) positiivse laenguga kehalt neutraalsele kehale.



Joonis 6.1. Negatiivse laenguga keha ühendamisel neutraalse kehaga hakkavad elektronid elektrijõudude mõjul liikuma laetud kehalt neutraalsele kehale.

6.1. Kuidas toimub elektrilaengu ülekanne negatiivse laenguga kehalt neutraalsele kehale?

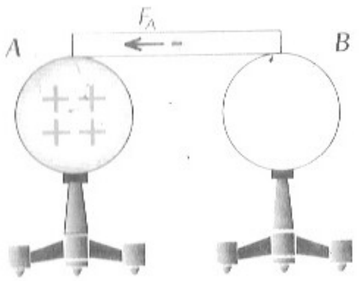


Joonis 6.2. Elektronide üleminek kehalt *A* kehale *B* lõpeb siis, kui neile laetud kehade poolt mõjuvad elektrijõud tasakaalustavad üksteist.

1. Asugu kõrvuti kaks samade mõõtmetega juhtivast ainest keha. Kehal *A* on negatiivne elektrilaeng, keha *B* on laenguta. Negatiivse laenguga kehas on elektrone rohkem kui prootoneid. Neile, nn. "liigsetele" elektronidele, mõjuvad tõukejõud. Kui kehad metallvarda abil ühendada, tekib elektronidel võimalus laetud kehast lahkuda. Elektronid hakkavadki elektrijõudude mõjul liikuma mööda metallvarrast laetud kehalt laenguta kehale (joonis 6.1). Selle tulemusena väheneb kehas *A* elektronide hulk ning väheneb ka keha elektrilaeng. Keha *B* aga omandab juurdetulnud elektronide tõttu negatiivse laengu ning hakkab samuti elektrijõududega mõjutama metallvardas liikuvaid elektrone. Metallvardas liikuvatele elektronidele mõjuvad nüüd vastassuunalised elektrijõud. Mida suuremaks saab keha *B* laeng, seda suuremad on ka elektrijõud, millega laetud keha *B* mõjub metallvardas liikuvatele elektronidele. Kui kehade laengud on saanud suuruselt võrdseiks, siis laetud kehade *A* ja *B* poolt elektronidele mõjuvad elektrijõud tasakaalustavad teineteist (joonis 6.2) ning elektronide liikumine kehalt *A* kehale *B* ehk elektrilaengu ülekanne lakkab.

2. Olgu kehal *A* positiivne elektrilaeng, keha *B* olgu laenguta. Positiivse laenguga kehas on elektrone vähem kui prootoneid. Positiivse laenguga keha on valmis elektrone haarama. Kui kehad ühendada, hakkavadki elektronid tõmbejõudude mõjul liikuma, neutraalselt kehalt *B* positiivse laenguga kehale *A* (joonis 6.3). Elektronide lahkumise tõttu tekib kehal *B* nende puudujääk ning keha omandab positiivse elektrilaengu. Kehale *A* jõudnud elektronide tõttu väheneb aga selle keha positiivse elektrilaengu väärtus. Kuna mõlemal kehal on nüüd samaliigiline elektrilaeng, mõjuvad metallvardas liikuvatele elektronidele vastassuunalised elektrijõud. Elektronide liikumine kehalt *B* kehale *A* lakkab siis, kui laetud kehade *A* ja *B* poolt

6.2. Kuidas toimub elektrilaengu ülekanne positiivse laenguga kehalt neutraalsele kehale?



Joonis 6.3. Positiivse laenguga keha ühendamisel neutraalse kehaga hakkavad elektronid elektrijõudude mõjul liikuma neutraalselt kehalt positiivse laenguga kehale.

metallvardas liikuvatele elektronidele mõjuvad elektrijõud tasakaalustavad teineteist (joonis 6.4).

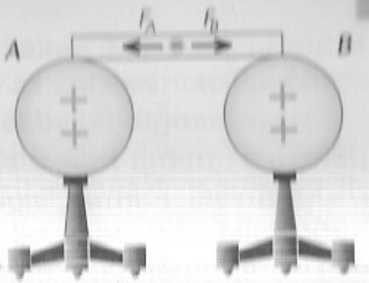
Mõlemal kirjeldatud juhul laetud keha elektrilaengu väärtus väheneb, sellega kokkupuutuv juhtivast ainest neutraalne keha aga laadub. Elektronide hulk elektrilaengu ülekandel ei muutu, ainult osa elektrone liigub ühelt kehalt teisele.

Hõõrdeelekter. Hõõrumisel puutuvad kokku erinevatest ainetest kehad. Eri ained võivad kokkupuutel elektrone kas loovutada või juurde haarata. Kui kehadevaheline kontakt on küllalt tihe, lähebki mingi hulk elektrone ühest kehast teise. Keha, millest elektronid lahkuvad, omandab positiivse laengu. Elektrone haaranud keha omandab aga negatiivse laengu. Kui kehad pärast kokkupuudet teineteisest eraldada, on neil suuruselt võrdsed eriliigilised laengud, sest ühest kehast lahkunud elektronide hulk võrdub teise kehasse saabunud elektronide hulgaga (joonis 6.5).

Kehasid võib küll väga tugevasti üksteise vastu suruda, kuid kuna kehade pinnad ei ole kunagi täiesti siledad, siis elektronide üleminekuks vajalik tihe kontakt tekib ainult väikeste pinnaosade vahel. Elektronid suudavad üleminekul ühest kehast teise lähida vahemaa, mis vastab aatomitevahelisele kaugusele aines (10^{-10} m). Kui kehasid hõõruda, võib ühe keha pinna mügarik sattuda teise keha sobivasse lohku ja pind, kus elektronid saavad ühest kehast teise minna, suureneb. Mida suurem on kehade tihedasti kokkupuutuv pind, seda suurem on ka elektronide ülemineku võimalus ning seda suurema elektrilaengu võivad kehad omandada. Sellepärast elektriseeritavaid kehasid hõõrutaksegi.

Tavaliselt elektriseeruvad hõõrumisel häid mitte-juhtivast ainest kehad. Eelnevatest kehadel jääb elektrilaeng püsima just neis kohtades, kus kehad olid tihedas kokkupuutes.

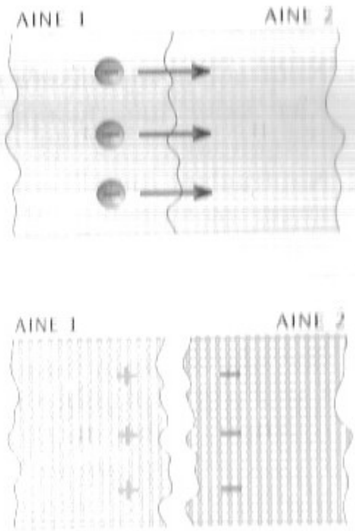
Kokkupuutel elektriseeruvad ka juhtivast ainest kehad. Kuna elektrijuhis saavad laetud osakesed vabalt liikuda, siis liiguvad kehade eraldamisel ühelt kehalt kogunenud liigsed elektronid kokkupuutepunkti kaudu tagasi teisele kehale, kus sel hetkel on nende puudujääk. See tähendab, et kokkupuutel elektriseerunud juhtivast ainest kehad on pärast üksteisest eraldamist jälle elektriliselt neutraalsed.



Joonis 6.4. Elektronide üleminek kehalt *B* kehale *A* lõpeb siis, kui neile laetud kehade poolt mõjuvad elektrijõud tasakaalustavad üksteist.

6.3. Miks hõõrumisel kehad elektriseeruvad?

6.4. Millised on hõõrumisel elektriseerunud kehade laengud?



Joonis 6.5. Kahe eri ainest keha tihedal kokkupuutel liiguvad elektronid ühest kehast teise. Kui kehad eemaldada, on neil sama suurusega eriliigilised elektrilaengud.

Kui aga juhtivast ainest keha hõõruda mittejuhtivast ainest kehaga, saab edukalt elektriseerida ka elektrijuhti.

Elektrilaengu jäävuse seadus. Kehad elektriseeruvad hõõrumisel sellepärast, et mingi hulk elektrone läheb üle ühelt kehalt teisele. Kehade elektriseerumisel toimub elektronide ümberjaotumine kehade vahel, mis enne hõõrumist olid neutraalsed. Kui neutraalsest kehast lahkub näiteks miljon elektroni, omandab keha positiivse elektrilaengu, mis suuruselt võrdub miljonkordse elementaarlaenguga. Need elektronid lähevad üle teisele neutraalsele kehale, mis omandab miljonkordse elementaarlaenguga võrdse negatiivse laengu. Kahe elektriseerunud keha ehk kehade süsteemi kogulaeng on aga võrdne nulliga, nagu see oli ka enne kehade elektriseerimist.

Selline arutluskäik on õige, kui kumbki kokkupuutes olevatest kehadest ei ole vastastikmõjus kolmanda kehaga, mis on kas eelnevalt elektriseeritud või millele võib kanduda osa elektrilaengust. Kui elektrilaengu ülekandel süsteemi või süsteemist välja ei toimu, siis moodustavad need kehad **elektriliselt isoleeritud süsteemi**. Viimases kehtib füüsika üks põhiseadusi – **elektrilaengu jäävuse seadus: elektriliselt isoleeritud süsteemi kogulaeng on muutumatu.**

Laengu jäävuse seaduse mõte seisneb selles, et looduses on positiivse ja negatiivse laenguga osakesi võrdselt. Kui mingi neutraalne keha omandab näiteks positiivse laengu, siis samal ajal omandab mingi teine keha täpselt niisama suure negatiivse laengu. Kehade laengute kogusumma seejuures aga ei muutu.

KONTROLLIMISEKS

1. Neutraalset metallkera puudutati positiivselt laetud kehaga. Metallkera laadus. Kas selle tulemusena kera mass suurenes, vähenes või ei muutunud? Põhjenda!
2. Neutraalset metallkera puudutati elektriseeritud merevaiguga, millel oli negatiivne elektrilaeng. Metallkera laadus. Kas selle tulemusena merevaigutüki mass suurenes, vähenes või ei muutunud? Põhjenda!
3. Kahel elektroskoobil on suuruselt võrdsed erilaadilised elektrilaengud. Elektroskoobid ühendatakse omavahel juhi abil. Selgita, mis toimub elektroskoopide ühendamisel!
4. Kahel elektroskoobil on erineva suurusega samaliigilised elektrilaengud. Elektroskoobid ühendatakse omavahel juhi abil. Selgita, mis toimub elektroskoopide ühendamisel!
5. Merevaik laadub villaga hõõrumisel negatiivselt. Selgita nähtust!
6. Kas kahe samast ainest keha hõõrumisel need kehad elektriseeruvad? Põhjenda!
7. Miks jääb juhile laeng selle hõõrumisel isolaatoriga, kahe juhi hõõrumisel nende elektriseerumist aga ei tähelda?

PROBLEEME

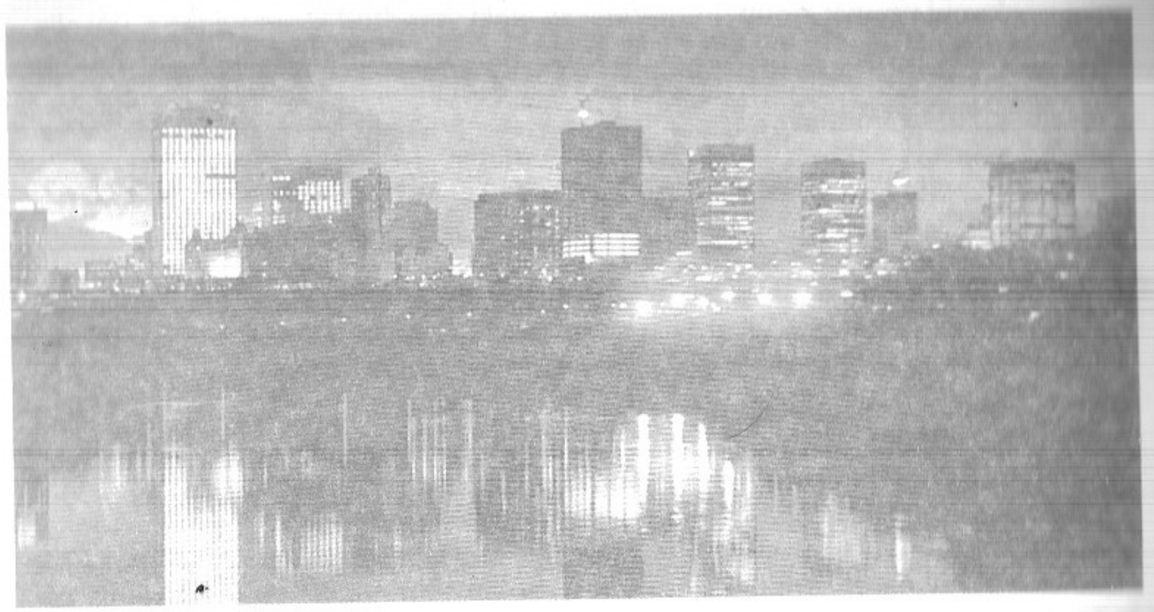
1. Elektroskoobil *A* on positiivne elektrilaeng, elektroskoobil *B* aga sellest kaks korda väiksem negatiivne laeng. Milliseks kujunevad elektroskoopide laengud nii suuruselt kui märgilt, kui ühendada elektroskoobid juhi abil?
2. Kahel elektroskoobil on erineva suurusega erilaadilised elektrilaengud q_1 ja q_2. Elektroskoobid ühendatakse omavahel juhi abil. Kui suured laengud on elektroskoopidel pärast ühendamist ja mis liiki need laengud on?
3. Ühe siidriidest lapiga hõõrutakse üheaegselt kahte klaaspulka. Kas hõõrumisel elektriseeruvad kõik kolm keha? Kuidas jaotuvad elektrilaengud klaaspulkade ja siidriide vahel?
4. Kummal juhul omandab elektroskoop suurema elektrilaenguga, kas siis, kui elektroskoobi varrast ainult puudutatakse elektriseeritud klaaspulgaga, või siis, kui elektriseeritud klaaspulgaga libistatakse mitu korda edasi-tagasi mööda elektroskoobi varrast pulka pidevalt pöörates. Selgita nähtust?
5. Võrdle B. Franklini elektriteooriat kaasaegse ettekujutusega elektrinähtustest. Mis on neis sarnast, mis erinevat?

KOKKUVÕTE

- **Elektriliselt laetud** ehk **elektriseeritud kehaks** nimetatakse keha, millel on elektrilaeng. Keha võib elektrilaengu omandada hõõrumisel või kokkupuutel laetud kehaga. Hõõrumisel elektriseeruvad mõlemad kehad.
- **Elektrilaeng** on füüsikaline suurus, mis näitab, kui tugevasti laetud kehad osalevad elektrilises vastastikmõjus. Elektrilaengu ühikuks on 1 kulon, ühiku tähis on 1 C. Elektrilaenguid on kahte liiki. Kokkuleppeliselt nimetatakse neid positiivseks (+) ja negatiivseks (–). Samaliigilise laenguga kehad tõukuvad, erilaadiliste laengutega kehad tõmbuvad. Laetud keha elektrilaeng on suuruselt võrdne elementaarlaengute summaga ning on elementaarlaengu täisarvkordne. Laetud keha elektrilaeng võib erinevatel juhtudel olla erineva suurusega.
- **Elementaarlaenguks** nimetatakse vähimat looduses eksisteerivat elektrilaengut. Elektroni ja prootoni elektrilaengud on suuruselt võrdsed elementaarlaenguga. Kokkuleppeliselt loetakse elektroni laengut negatiivseks ja prootoni laengut positiivseks.
- **Elektroskoop** on seade, millega saab kindlaks teha, kas keha on elektriseeritud. Elektroskoobi töö põhineb samaliigilise laenguga kehade tõukumisel.
- **Keha on positiivselt laetud**, kui kehas on elektrone vähem kui prootoneid. Keha on negatiivselt laetud, kui kehas on elektrone rohkem kui prootoneid. Keha on neutraalne, kui kehas on elektrone ja prootoneid võrdselt.
- **Kehad elektriseeruvad hõõrumisel** sellepärast, et eri ainest kehade tihedal kokkupuutel võivad elektronid minna ühest kehast teise. Kui kehad pärast hõõrumist teineteisest eraldada, on neil sama suurusega erilaadilised elektrilaengud. Kehade elektriseerumisel ei teki uusi laetud osakesi juurde ega hävi olemasolevaid.
- **Elektriväli** ümbritseb laetud keha ja vahendab nende kehade elektrilist vastastikmõju. Elektrivälja mistahes punktis mõjub laetud kehale alati kindla suuruse ja suunaga elektrijõud. Paigaloleva laetud keha elektrivälja inimene oma meeleorganitega ei tunneta.
- Ained liigitatakse **elektrijuhtideks** ja **mittejuhtideks**. Elektrijuhiks nimetatakse ainet, mida mööda elektrilaeng võib kanduda ühelt kehalt teisele. Mittejuhiks nimetatakse ainet, mida mööda elektrilaeng ei kandu ühelt kehalt teisele. Maa ja inimese keha on elektrijuhid.

2
PEATÜKK

ELEKTRIVOOL



Elektrijõudude toimel hakkavad laetud osakesed elektriväljas liikuma mingis kindlas suunas. Sellist nähtust nimetatakse elektrivooluks. Selles peatükis tulebki juttu elektrivoolust, kõige üldisematest nähtustest, mis kaasnevad elektrivooluga, ning mõõteriistadest, millega saab kindlaks teha voolu olemasolu ja mõõta voolutugevust.

7. ELEKTRIVOOL. ELEKTRIVOOLU SUUND

- **Mida nimetatakse elektrivooluks?**
- **Millistel tingimustel tekib elektrivool?**
- **Milline on elektrivoolu kokkuleppeline suund?**

Kõnekeeles tähendab sõna *vool* paljude kehade või osakeste teatud kindlasuunalist liikumist. Näiteks vesi voolab jõgedes, ojades ja veevärgitorudes. Suurte linnade tänavatel võib näha autode voolu. Räägitakse ka inimvoolust, mis väljub lauluväljakult pärast suurte pidude lõppemist või staadioni väravast pärast spordivõistlusi.

Voolu võivad tekitada ka elektriliselt laetud osakesed. Kui näiteks laetud ja laadimata elektroskoobid metallvarda abil ühendada, hakkavad laetud osakesed liikuma mööda varrast ühelt elektroskoobilt teisele. Selle tagajärjel laetud elektroskoobi laengu suurus väheneb, laadimata elektroskoop aga laadub (joonis 3.4). Laetud osakesed liiguvad metallvardas nagu autod ühesuunalise tiheda liiklusega tänaval. Metallvardas suunatult liikuvad laetud osakesed tekitavad laetud osakeste voolu, mida nimetataksegi **elektrivooluks.**

Elektrivooluks nimetatakse elektrilaenguga osakeste suunatud liikumist. Elektrivool on põleva elektrilambi hõõgniidis, töötava elektripliidi küttekehas, tolmuimeja mootoris, taskuarvuti pooljuhtelementides ning päevavalguslampide ja reklaamtorude ioniseeritud gaasis. Ka välgusähvatused ei ole midagi muud kui elektrivool. Elektrivool kulgeb isegi inimeste ja loomade närvirakkudes. Läbi telefilmi kineskoobi õhutühja ruumi liikuv elektronide voog, mis tekitab pildi teleri ekraanil, on samuti elektrivool. Isegi päikesetuult, Päikeselt eemalduvat tohutut prootonite, elektronide jaioonide voogu, võib nimetada elektrivooluks. Elektrivooluks saab neid nähtusi pidada sellepärast, et nende ühiseks tunnuseks on laetud osakeste suunatud liikumine.

7.1. Mida nimetatakse elektrivooluks?

Voolust saame rääkida siis, kui on olemas kehad, mis võivad liikuda, ja jõud, mis paneb need kehad ühes ja samas suunas liikuma. Vesi voolab jõgedes sellepärast, et veele mõjub raskusjõud. Kuna jõe lähe on suudmest alati kõrgemal, saabki vesi voolata ühest kohast teise. Vee vool jões võib katkeda aga vee puudumise tõttu. Kuumadel põuastel suvedel sageli nii juhtubki ning väiksemad jõed ja ojad kuivavad. Jõesäng küll on, kuid pole vett, mis selles voolaks.

Ka elektrivool tekib siis, kui on olemas elektriliselt laetud osakesed, mis saavad vabalt liikuda, ja neile mõjub jõud, mis paneb need osakesed suunatult liikuma. **Laetud osakesi, mis saavad aines vabalt liikuda, nimetatakse vabadeks laengukandjateks.**

7.2. Milliseid osakesi nimetatakse vabadeks laengukandjateks?

Elektrivoolu juhtmes võib võrrelda vee vooluga jões.

7.3. Mis tingimustel tekib elektrivool?

Vabad laengukandjad hakkavad suunatult liikuma elektrijõu mõjul. Elektrivool tekib siis, kui on täidetud kaks tingimust:

1) on olemas vabad laengukandjad, mis saavad hakata liikuma;
2) vabadele laengukandjatele mõjuvad elektrijõud.

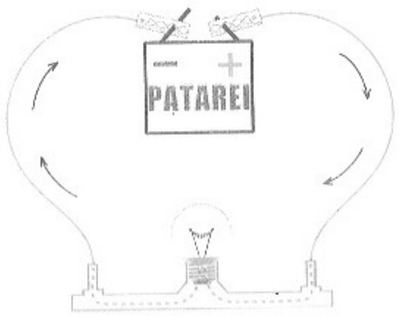
Teatavasti mõjub elektrijõud laetud kehadele elektriväljas. Järelikult selleks, **et tekiks elektrivool, tuleb aines tekitada elektriväli.**

Vooluallikad.

7.4. Kuidas tekitada juhis kestvat elektrivoolu?

Elektrivool laetud ja laadimata elektroskoope ühendavas metallvardas kestab väga lühikest aega. Et saada kestvat elektrivoolu, tuleb kasutada vooluallikat. Vooluallikad on näiteks taskulambipatarei ja aku. Igal vooluallikal on kaks erinimelist poolust, mis tähistatakse märkidega "+" ja "–". Vooluallika pooluste vahel on elektriväli. Kui poolused ühendada juhiga, levib elektriväli ka juhis ning selles tekib elektrivool.

7.5. Milline on elektrivoolu kokkuleppeline suund?



Joonis 7.1. Kokkuleppeliselt on elektrivool juhis suunatud vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele.

Elektrivooluga kaasnevad mitmed nähtused, millest tuleb juttu järgnevates õppetükkides. Et neid seletada, on oluline teada elektrivoolu suunda. Voolu suuna jões saab kindlaks määrata näiteks vette visatud puupulgakese liikumise järgi. Elektrivoolu suunda nii lihtne määrata ei ole, sest vabade laengukandjate liikumist ei ole silmaga võimalik jälgida. Pealegi, positiivselt ja negatiivselt laetud osakesed liiguvad ju elektriväljas vastassuundades.

Elektrivoolu suund on määratud kokkuleppeliselt. **Elektrivoolu suunaks loetakse positiivse laenguga osakeste liikumise suunda.** Seega, elektrivool vooluallikaga ühendatud juhis on suunatud vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele (joonis 7.1). Kui juhis liiguvad negatiivse laenguga osakesed, siis on voolu suund nende liikumise suunale vastupidine.

1. Kas säde, mis võib tekkida kampsuni seljast võtmisel või kassi silitamisel, on elektrivool?
2. Laetud elektroskoop ühendatakse juhi abil maaga. Milline on elektrivoolu suund elektroskoopi maaga ühendavas juhis, kui elektroskoobi laeng on positiivne? kui elektroskoobi laeng on negatiivne?

8. ELEKTRIVOOL METALLIDES JA ELEKTROLÜÜTIDE VESILAHUSTES

8.1. Miks juhis võib tekkida elektrivool, mittejuhis aga mitte?
8.2. Milliste laetud osakeste suunatud liikumine tekitab elektrivoolu metallides?
8.3. Milliste laetud osakeste suunatud liikumine tekitab elektrivoolu elektrolüütide vesilahustes?

Laetud ja laadimata elektroskoope ühendavas metallvardas tekib elektrivool, sest osa laetud elektroskoobi elektrilaengust kandub mööda metallvarrast laetud elektroskoobilt laadimata elektroskoobile (vt. joonis 3.4). Kui elektroskoobid ühendada aga plastjoonlaua abil, siis elektrilaeng ühelt elektroskoobilt teisele ei kandu ja plastjoonlauas elektrivoolu ei teki (vt. joonis 3.5).

Teatavasti on metallvarras elektrijuht, plastjoonlaud aga mittejuht. Kuna elektrivool võib tekkida ainult aines, milles on vabu laengukandjaid, siis elektrijuhtideks nimetatakse aineid, milles on suur hulk vabu laengukandjaid. Mittejuhis elektrivoolu ei teki, sest mittejuhis pole vabu laengukandjaid. Sõnal *elektrijuht* on edaspidi kaks tähendust. Selle sõnaga tähistatakse nii *ained* kui ka keha, milles võib tekkida elektrivool.

Eelnevas oli juttu sellest, et elektrijuhid on metallid ning soolade, hapete ja leeliste vesilahused. Vaatleme, milliste laetud osakeste suunatud liikumine tekitab elektrivoolu metallides ja elektrolüütide vesilahustes.

8.1. Mis on juhi ja mittejuhi iseloomulikuks tunnuseks?

Joonis 8.1. Vabad elektronid liiguvad metallis korrapäratult positiivsetest ioonidest moodustunud kristallivõre sõlmedevahelises ruumis.

8.2. Millised osakesed moodustavad metalli kristallivõre?

Elektrivool metallides. Metallid on tahkes olekus kristallilise ehitusega. Aineosakesed paiknevad kristallis korrapäraselt, moodustades kristallivõre. Kristallivõre ehitusest sõltub nii kristalli ilme kui ka kuju. Metalli kristallivõre sõlmedes paiknevad positiivsed ioonid (joonis 8.1). Need on tekkinud metalli aatomitest, mis kristallivõre moodustumise ajal on loovutanud üks või kaks välise elektronkihi elektroni. Positiivsed ioonid võnguvad oma tasakaaluasendi ümber.

8.3. Millised osakesed liiguvad kristallivõre sõlmedevahelises ruumis?

Kristallivõre sõlmedevahelises ruumis liiguvad vabad elektronid (joonis 8.1). Vabadeks nimetatakse neid sellepärast, et nad ei ole seotud ühegi positiivse iooniga ja võivad seetõttu liikuda kogu metallitüki ulatuses. Vabad elektronid liiguvad korrapäratult tohutu suure kiirusega – umbes tuhat kilomeetrit sekundis.

8.4. Miks on metallitükk tavaliselt elektriliselt neutraalne?

Tavaliselt on suvaline metallitükk elektriliselt neutraalne. See tähendab, et metallis olevate vabade elektronide kogu negatiivne laeng on suuruselt võrdne kristallivõre ioonide kogu positiivse laenguga. Vabade elektronide korrapäratu liikumine metallis ei tekita elektrivoolu. Elektrivoolust saab rääkida vaid siis, kui vabad laengukandjad liiguvad ühes kindlas suunas.

8.5. Milliste laetud osakeste suunatud liikumine tekitab metallis elektrivoolu?

Et metallis oleks elektrivool, tuleb selles tekitada elektriväli. Elektriväljas mõjuvad vabadele laengukandjatele elektrijõud, mis panevad need suunatult liikuma. Olgugi et elektrijõudude mõjul hakkavad vabad elektronid suunatult liikuma, jätkub ka nende korrapäratu liikumine. Iga vaba laengukandja liigub küll korrapäratult, kuid samal ajal kulgeb see koos teistega ka ühes kindlas suunas. Vabade laengukandjate liikumine elektriväljas on sarnane sääseparve liikumisele ühest kohast teise soojal suveõhtul. Ka sääsed lendlevad ju parves siia-sinna, edasi-tagasi. Samas tuleb aga kerge tuuleiil ja kogu kihav sääsepary kandub teise kohta. **Elektrivooluks metallides nimetatakse vabade elektronide suunatud liikumist.**

8.6. Milline on elektrivoolu korral vabade elektronide liikumise suund metallis?

Kuna elektroni laeng on negatiivne, siis vooluallikaga üheńdatud metalljuhis liiguvad vabad elektronid vooluallika negatiivselt pooluselt positiivsele. Vabade elektronide suunatud liikumine metallis on seega vastupidine elektrivoolu kokkuleppelisele suunale.

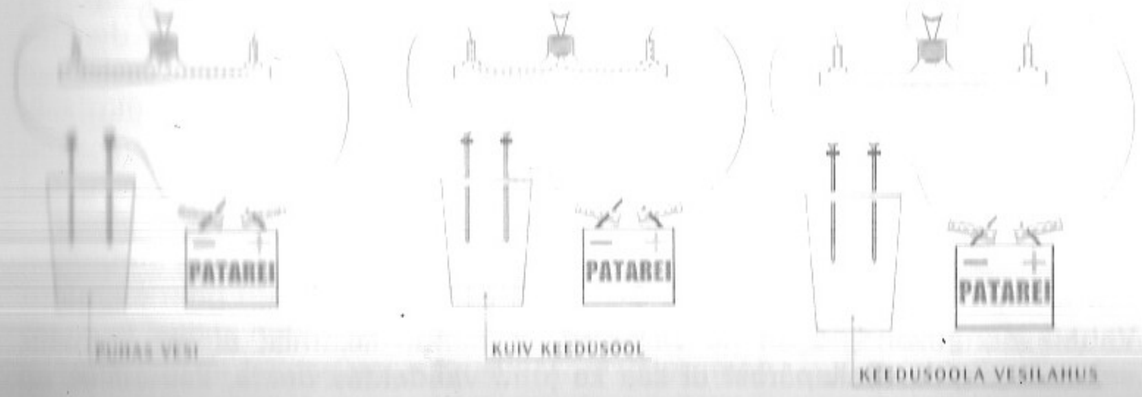
Vabade elektronide suunatud liikumise kiirus metallis on väga väike. Arvutuste kohaselt on see näiteks taskulambipirni patareiga ühendavas 1 mm² ristlõikepindalaga vaskjuhtmes vaid 0,02 mm/s. Nii aeglaselt liikuvatel osakestel kulub 1 cm pikkuse juhtmelõigu läbimiseks üle kaheksa minuti. Kuidas on laetud osakeste nii väikese liikumiskiiruse juures võimalik, et lamp süttib just lülitile vajutamise hetkel?

Küsimusele on lihtne vastata, kui lähtume metalli ehitusest. Juhtmetes ja lambi hõõgniidis on väga palju vabu elektrone, mis paiknevad ühtlaselt igal pool, nii lambi hõõgniidis kui ka lampi vooluallikaga ühendavates juhtmetes. Kuni lüliti on avatud, juhtmetes ja lambis elektrivälja pole. Vabad elektronid liiguvad korrapäratult ning elektrivool puudub. Kui lüliti sulgeda, levib elektriväli juhtmetes ja lambi hõõgniidis peaaegu hetkeliselt ning elektrivälja mõjul hakkavad kõik vabad elektronid üheaegselt suunatult liikuma. Elektrivool tekib samaaegselt kogu juhi ulatuses. Sellepärast sütibki lamp just lülitile vajutamise hetkel.

Elektrivoolu tekkimine metallis on sarnane sõdurite kolonni liikumahakkamisega. Kolonni rivistatud sõdurid on paigal ja ootavad käsklust liikumiseks. Kui see antakse, hakkavadki kõik üheaegselt marssima. Kui sõdureid kujutleda vabade elektronidena ja käsklust jõuna, mis nad liikuma paneb, saamegi selgituse sellest, mis toimub metallis elektrivälja mõjul.

Elektrivool elektrolüütide vesilahustes. Kuivas keedusoolas ja puhtas vees elektrivoolu ei teki (joonis 8.2). Kuiv keedusool ja puhas vesi on isolaatorid.

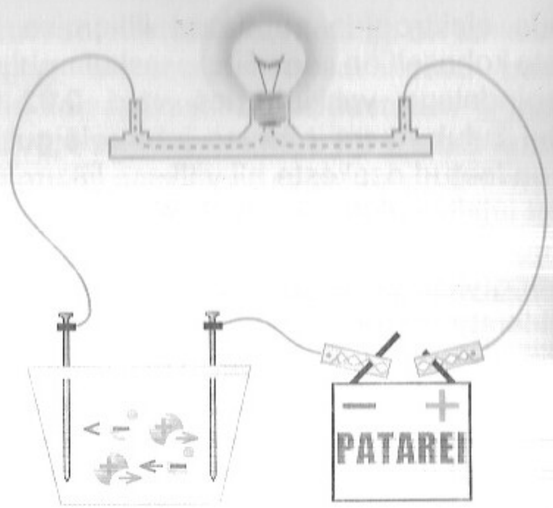
Elektrivool tekib aga keedusoola vesilahuses (joonis 8.3). Vette puistatud keedusool lahustub ja tekivad naatriumi positiivsed (Na^+) ning kloori negatiivsed (Cl^-) ioonid, mis liiguvad lahuses korrapäratult. Kui elektrolüüdi vesilahuses tekitada elektriväli, hakkavad ioonid elektrijõudude mõjul suunatult liikuma ning lahuses tekib elektrivool. Positiivsed ja negatiivsed ioonid liiguvad vastassuundades – positiivsed ioonid vooluallika negatiivse pooluse poole, negatiivsed ioonid aga vooluallika positiivse pooluse poole.



Joonis 8.2. Lambis ei ole elektrivoolu, sest puhas vesi ja kuiv keedusool ei ole elektrijuhid.

Joonis 8.3. Keedusoola vesilahuses on elektrivool.

Joonis 8.4. Kui elektrolüüdi vesilahuses tekitada elektriväli, hakkavad positiivsed ioonid liikuma vooluallika negatiivse, negatiivsed ioonid aga positiivse pooluse poole.



8.7. Mis toimub elektrolüüdi lahustumisel vees?

8.8. Milliste laetud osakeste suunatud liikumine tekitab elektrivoolu elektrolüüdi vesilahuses?

(joonis 8.4). Seega, elektrolüüdi vesilahuses on vabadeks laengukandjateks positiivsed ja negatiivsed ioonid ning **elektrivooluks elektrolüüdi vesilahuses nimetatakse ioonide suunatud liikumist.**

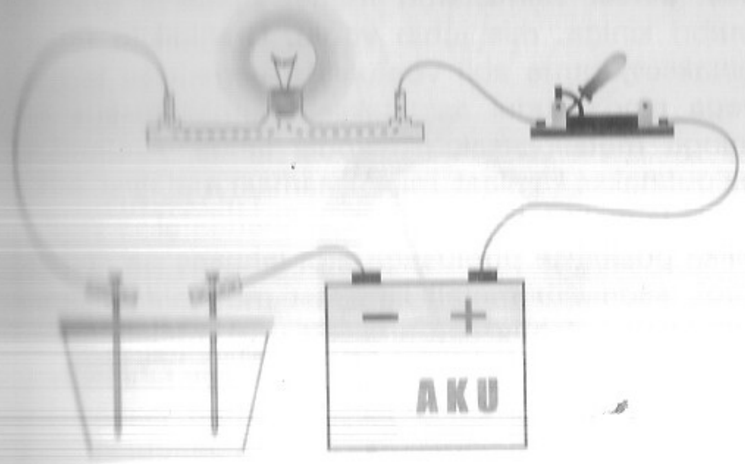
1. Vabade elektronide suunatud liikumise kiirus metallis on väga väike. Sellest hoolimata kandub osa elektrilaengust mööda metallvarrast laetud elektroskoobilt laadimata elektroskoobile hetkeliselt. Kuidas nähtust seletada?
2. Ühel elektroskoobil on negatiivne elektrilaeng, teine elektroskoop on laenguta. Oletame, et meil õnnestub "märgistada" kõik laetud elektroskoobi negatiivse elektrilaengu moodustavad vabad elektronid. Kui elektroskoobid metallvarda abil ühendada, kandub osa elektrilaengust laetud elektroskoobilt laadimata elektroskoobile. Kas esialgu laadimata elektroskoobi laeng koosneb nüüd ainult "märgistatud" vabadest laengukandjatest? Seleta nähtust!

9. ELEKTRIVOOLU TOIMED. GALVANOMEETER

- **Kuidas ilmneb voolu soojuslik toime?**
- **Kuidas ilmneb voolu keemiline toime?**
- **Kuidas ilmneb voolu magnetiline toime?**
- **Kuidas töötab galvanomeeter?**

Vabad laengukandjad on nii väikesed, et nende liikumist ei ole võimalik vahetult jälgida. Sellepärast ei saa ka juhti vaadeldes öelda, kas selles on elektrivool või mitte. Voolu olemaolu saab kindlaks teha nähtuste abil, mis sellega kaasnevad. **Elektrivooluga kaasnevaid nähtusi nimetatakse voolu toimeteks.**

Joonis 9.1. Katseseade, mille abil saab vaadelda voolu keemilist toimet.



Elektrilambi hõõgniit soojeneb ja hakkab kiirgama valgust, kui selles tekitada elektrivool. Voolu toimel soojenevad ka elektripliidi ja triikraua kütteelemendid. **Vooluga juht soojeneb.** Selles seisnebki **voolu soojuslik toime.** Tavalistes tingimustes soojenevad voolu toimel nii metallid kui ka elektrolüütide vesilahused. Voolu soojuslikul toimel põhineb kõikide elektriliste soojendusriistade töö.

Voolu keemilist toimet võib jälgida katses elektrolüüdi vesilahusega. Klaasanumas on vaskvitrioli ($CuSO_4$) vesilahus, millesse on asetatud kaks suurt naela. Naelad on ühendatud juhtmete abil läbi lambi ja lüliti vooluallikaga (joonis 9.1). Lüliti sulgemisel lamp süttib. Lambi põlemine viitab sellele, et ka vaskvitrioli vesilahuses on elektrivool. Kui mõne minuti pärast vool katkestada ja naelad lahusest välja võtta, on ühel neist näha punakat kirmet. See on vask, mis eraldus voolu toimel vaskvitrioli vesilahusest ja sadestus naelale. Voolu keemiline toime seisneb selles, et **elektrivool eraldab juhist selle koostisosi.** Voolu keemiline toime esineb ainult elektrolüütide vesilahustes või elektrolüütide sulandites, metallides elektrivool selliseid muutusi esile ei kutsu.

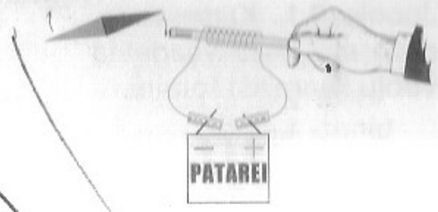
Voolu keemilisel toimel põhineb alumiiniumi, naatriumi, magneesiumi ja mõnede teiste metallide tootmine ning metallesemete katmine nikli ja krooniga, et kaitsta neid korrodeerumise eest.

1837. aastal leiutas vene füüsik Moritz Hermann Jacobi (1801–1874) meetodi metalljäljendi saamiseks reljeefsetest mudelitest. Meetod põhineb voolu keemilisel toimel. Vahast või mõnest muust plast-

9.1. Kuidas ilmneb voolu soojuslik toime?

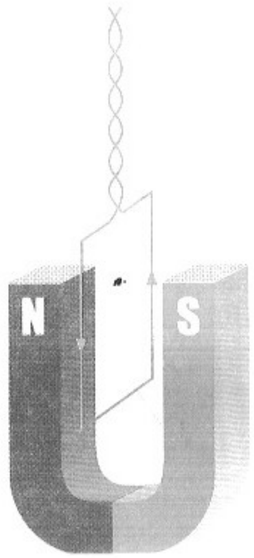
9.2. Kuidas ilmneb voolu keemiline toime?

Moritz Hermann Jacobi – vene füüsik ja elektrotehnik. Leiutas 1834. aastal alalisvoolu elektrimootori, mida katsetas 1838. aastal paadimootorina Neeva jõel. Leiutas galvanoplastika. On konstrueerinud mitmesuguseid elektriseadmeid: voltmeetri, erinevat tüüpi galvanomeetreid, takistuse etaloni jne. 1835.–1837. a. töötas arhitektuuri professorina Tartu Ülikoolis.



Joonis 9.2. Vooluga mähis mõjutab magnetnõela.

9.3. Kuidas ilmneb voolu magnetiline toime?



Joonis 9.3. Magneti harude vahel rippuv vooluga raamike pöördub magneti harusid ühendava sirge suhtes risti.

9.4. Millise asendi võtab vooluga raamike magneti harude vahel?

9.5. Milleks kasutatakse galvanomeetrit?

sest ainest valmistatud mudel kaetakse grafiidi pulbri kihiga, mis juhib voolu. Grafiidikiht ühendatakse juhtme abil vooluallika negatiivse poolusega ning mudel asetatakse anumasse, kus on mingit metalli sisaldava soola lahus. Anumasse paigutatakse ka plaat, mis on samast metallist, millest soola lahust kasutatakse. Plaat ühendatakse vooluallika positiivse poolusega. Kui lahuses on elektrivool, sadestub metall lahusest mudelile, plaadilt aga kandub lahusesse pidevalt uusi metalli ioone. Mudelile sadestunud metall katab selle kihina, mis järgib täpselt mudeli reljeefi. Saadud jäljend on mudelist kergesti eemaldatav. M. H. Jacobi alustas töid selle meetodi väljaarendamiseks ajal, mil ta töötas professorina Tartu Ülikoolis.

Olgu pliiatsi otsa ümber mähitud mõnikümmend keerdu isoleeritud traati. Kui traadi otsad ühendada vooluallikaga, tekib mähises elektrivool. Lähendades vooluga mähise kompassi magnetnõelale, pöördub see ühe otsaga mähise poole (joonis 9.2). Pärast voolu katkestamist, pöördub magnetnõel oma esialgsesse asendisse tagasi. Järelikult, **vooluga mähis mõjutab magnetnõela**. Selles katses ilmneb **voolu magnetiline toime.**

Voolu magnetiline toime kaasneb elektrivooluga nii metallides kui ka elektrolüütide vesilahustes. Just tänu voolu magnetilise toime olemasolule ja selle rakendamisele on saanud võimalikuks konstrueerida ja ehitada elektrimootoreid, elektrivoolugeneraatoreid, raadioid, telereid, arvuteid ja palju-sid teisi elektriseadmeid.

Elektrivoolul on seega kolm toimet: **soojuslik**, **keemiline** ja **magnetiline**. Kõigis elektrivooluga kaasnevates nähtustes avaldub alati vähemalt üks neist. Kuid esineb ka selliseid olukordi, kus on jälgitavad kõik kolm elektrivoolu toimet.

Galvanomeeter. Olgu magneti harude vahele riputatud kerge raamike, millele on mähitud mõnikümmend keerdu peenikest juhet. Kui juhtme otsad ühendada vooluallikaga, tekib mähises vool ja raamike pöördub oma tasandiga risti magneti harusid ühendava sirge suhtes (joonis 9.3). Kas vooluga raamike pöördub seejuures kellaosuti liikumise suunas või sellele vastassuunas, sõltub voolu suunast mähises.

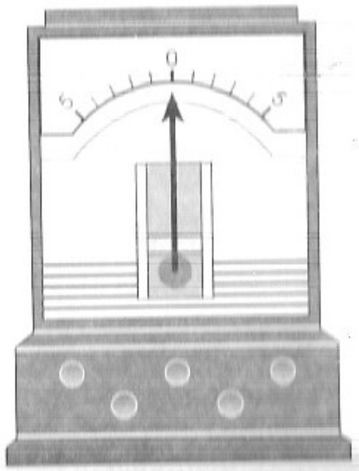
Joonis 9.4. Galvanomeetri ehitus.

9.6. Milline on galvanomeetri ehitus ja kuidas galvanomeeter töötab?

Püsimagneti ja vooluga mähise vastastikmõjul põhineb miltmete elektrimõõteriistade töö. **Voolu olemasolu juhis saab kindlaks teha galvanomeetri abil.**

Galvanomeetri põhiosadeks on magnet ja selle harude vahele teljele paigutatud mähisega raamike (joonis 9.4). Viimane võib oma telje ümber kergesti pöörduda. Raamikese küljes on osuti, mis pöördub koos raamikesega, kui selle mähises tekitatakse elektrivool. Et raam läheks voolu katkestamisel algasendisse tagasi, on selle külge kinnitatud vedru.

Galvanomeeter on varustatud skaalaga. Kui raamikeses vool puudub, asub osuti skaala keskel (joonis 9.5). Vastavalt voolu suunale mähises pöördub osuti skaala keskpunktist kas ühele või teisele poole.



Joonis 9.5. Kui galvanomeeter ei tööta, asub osuti skaala keskel.

FRAKTILINE ÜLESANNE

1. Vala klaasi umbes 50 ml vett ja lahusta selles 1 supilusikatäis keedusoola. Mõõda saolvee temperatuur. Võta kaks suuremat naela ja kinnita kummagi naela ühe otsa külge isoleerkihist puhastatud juhe. Aseta naelad klaasi, kus on soolvesi, nii et nad kokku ei puutuks, ja ühenda juhtmete teised otsad taskulambipatarei klemmidega. Jälgi, mis toimub naelte ümbruses, ja mõõda soolvee temperatuuri iga kahe minuti järel. Tee kokku viis mõõtmist. Pärast katse lõpetamist vaatle ka naelu. Mida Sa oma katsest järeldad?

10. VOOLUTUGEVUS. VOOLUTUGEVUSE ÜHIK

➲ **Millega võrdub voolutugevus?**

➲ **Mis ühikutes voolutugevust mõõdetakse?**

Voolu toimed võivad ilmneda kas tugevamal või nõrgemal kujul. Näiteks auto kaugtule lamp valgustab heledalt, seisutule lamp kiirgab aga nii vähe valgust, et pimedas sõita pole võimalik. Kui tugevasti voolu toimed ilmnevad, sõltub voolu suurusest ehk, nagu füüsikas öeldakse, **voolutugevusest**.

Oletame, et laseme kraanist vett läbi vooliku ämbrisse. Kui kraan on täielikult avatud, paiskub vesi voolikust tugeva joana ning ämber täitub kiiresti. Kui aga kraan on vaid veidi avatud, täitub ämber aeglaselt. Täielikult avatud kraani korral läbib ajaühikus vooliku otsa või mistahes ristlõiget suur kogus vett. Pooleldi avatud kraani korral on ajaühikus vooliku suvalist ristlõiget läbiva vee kogus väike. Öeldakse, et esimesel juhul on voolikus vee vool tugev, teisel juhul aga nõrk.

Sarnaselt iseloomustatakse ka elektrivoolu suurust voolutugevuse mõiste abil. Juhis "voolavad" vabad laengukandjad. Kui näiteks metalljuhtmes on elektrivool, siis läbib igas ajaühikus juhtme suvalist ristlõiget teatud hulk suunatult liikuvaid vaba elektrone. Vabade laengukandjate suunatud liikumise tulemusena kandub elektrilaeng juhi ühest piirkonnast teise. Mida suurem on ajaühikus edasikandunud elektrilaeng, seda suurem on voolutugevus juhis. **Voolutugevus on arvuliselt võrdne ajaühikus juhi ristlõiget läbinud elektrilaengu suurusega.**

$$\text{Voolutugevus} = \frac{\text{elektrilaeng}}{\text{aeg}}$$

10.1. Millest sõltub voolutugevus juhis?

Voolutugevus on elektrivoolu iseloomustav füüsikaline suurus, mida tähistatakse tähega I. Voolutugevuse seose mingi ajavahemiku t jooksul juhi ristlõiget läbinud elektrilaengu suurusega q saab avaldada kujul

$$I = \frac{q}{t}.$$

10.2. Mis on voolutugevuse tähiseks ja ühikuks?

Voolutugevuse ühikuks on **1 amper.** Ühiku tähis on **1 A**. Voolutugevuse ühiku nimetus on tuletatud prantsuse füüsiku André Marie Ampère'i (1775–1836) nimest. Voolutugevuse ühiku saab avaldada laengu ühiku ja aja ühiku jagatisena.

$$1\ \text{voolutugevuse ühik} = \frac{1\ \text{laengu ühik}}{1\ \text{aja ühik}},$$

$$1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}} = 1\ \frac{\text{C}}{\text{s}}.$$

Elektrilaeng suurusega üks kulon on väga suur laeng, mis arvuliselt on võrdne $6{,}25 \cdot 10^{18}$ elementaarlaenguga. Sellise suurusega elektrilaeng liikumata kehal ei püsi, sest samaliigilise laenguga osakeste vahel mõjuvad väga suured tõukejõud. 1 C laenguga elektrilaengu liikumine juhis ei ole aga millegi erandlik nähtus. Voolutugevusel 1 A läbibki juhi ristlõiget ühes sekundis just 1 C suurune elektrilaeng. Ligilähedaselt 1 A suurune voolutugevus on näiteks töötava 200 vatise võimsusega elektrilambi hõõgnõidis. Selliseid lampe kasutatakse tänavil klassiruumide valgustamiseks. Lambi hõõgnõidi ristlõiget läbib seega igas sekundis tervelt $6{,}25 \cdot 10^{18}$ suunatult liikuvat vaba elektroni.

Peale põhiühiku 1 A kasutatakse ka selle osasid ning kordseid ühikuid:

1 nA (nanoamper)	= 0,000000001 A	= $1 \cdot 10^{-9}$ A
1 µA (mikroamper)	= 0,000001 A	= $1 \cdot 10^{-6}$ A
1 mA (milliamper)	= 0,001 A	= $1 \cdot 10^{-3}$ A
1 kA (kiloamper)	= 1000 A	= $1 \cdot 10^{3}$ A

Tööstavates elektriseadmetes võib voolutugevus olla erineva suurusega. Näiteks elektripardlis on voolutugevus tavaliselt umbes 0,07 A ehk 70 mA. Mõnedes taskulambipirnides on voolutugevus ligikaudu 0,25 A. Umbes sama voolutugevus on ka 60 vatise võimsusega lauavalgusti lambis. Koduste elektripliitide võimsamates küttekehades võib voolutugevus ületada 9 amprit. Sõiduauto käiviti mahtuses on auto käivitamisel voolutugevus umbes 100–150 A. Välgus võib voolutugevus küündida isegi 100 000 A ehk 100 kA.

Elektrivool on inimese elule ja tervisele ohtlik, sellepärast tuleb elektriseadmete käsitsemisel ja vooluringide koostamisel olla väga ettevaatlik. Kuna inimese keha on elektrijuht, võib eksimise korral sellest tekkida elektrivool. On kindlaks tehtud, et elektrivool tugevusega alla 1 mA on inimesele ohutu. Voolutugevus üle 100 mA võib olla aga inimese jaoks surmav.

Voolutugevuse väärtus sõltub vabade laengukandjate suunatud liikumise kiirusest juhis. Juhi

André Marie Ampère – prantsuse füüsik ja matemaatik. Lõi teooria elektriliste ja magnetiliste nähtuste vastastikusest seosest. Esitas hüpoteesi magnetismi olemusest. Tõi füüsikasse mõiste *elektrivool*. Esitas idee kasutada elektromagnetnähtusi signaalide edastamiseks. On konstrueerinud mitmeid elektriseadmeid. Tegeles ka filosoofia ja botaanikaga.

10.3. Millise tugevusega elektrivool on inimesele ohutu, milline ohtlik?

10.4. Kuidas sõltub voolutugevus vabade laengukandjate suunatud liikumise kiirusest juhis?

ristlõiget läbinud laengu suurus sõltub ju ristlõiget läbinud vabade laengukandjate hulgast. Mida kiiremini need liiguvad, seda suurem hulk neid läbib ajaühikus juhi ristlõiget ning seda suurem on ka ajaühikus juhi ristlõiget läbinud elektrilaeng. Seega, mida suurem on vabade laengukandjate suunatud liikumise kiirus, seda suurem on voolutugevus juhis.

NÄIDISÜLESANNE

Töötava elektrimootori mähise ristlõiget läbib 30 minuti jooksul elektrilaengu suurusega 1800 kulonit. Kui suur on voolutugevus elektrimootori mähises?

ANDMED:

$q = 1800$ C
$t = 30$ min $= 1800$ s

$I = ?$

LAHENDUS.

Voolutugevus on võrdne ajaühikus juhi ristlõiget läbinud laengu suurusega.

$$I = \frac{q}{t}$$

$$I = \frac{1800\ \text{C}}{1800\ \text{s}} = 1\ \text{A}$$

VASTUS. Voolutugevus elektrimootori mähises on 1 A.

1. Kahel elektroskoobil olid suuruselt võrdsed elektrilaengud. Õpilane puudutas ühte elektroskoopi metallvardaga, teist puupulgaga. Metallvardaga puudutatud elektroskoobilt kadus laeng hetkeliselt, teise elektroskoobi tühjenemiseks kulus aga mitu sekundit. Kas võib öelda, et nii metallvardas kui ka puupulgas oli elektrivool? Kui jah, siis kummas oli voolutugevus suurem?
2. Mõnedes taskulambipirnides on voolutugevus 0,26 A. Kuidas võiks selline taskulambipirn põleda siis, kui voolutugevus selles oleks a) suurem kui 0,26 A? b) väiksem kui 0,26 A?

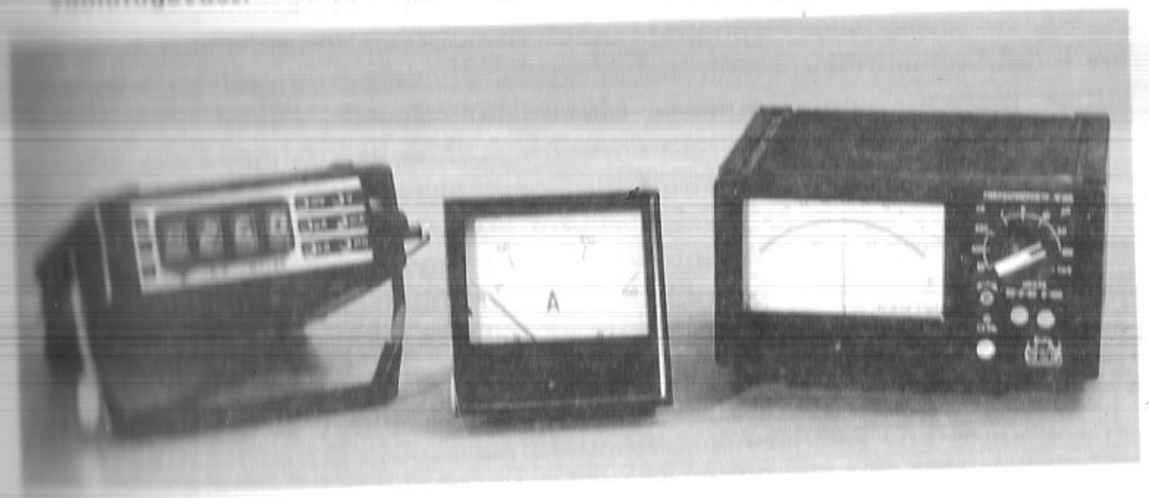
ÜLESANDED

1. Mitu milliamprit on 0,025 A?
2. Mitu milliamprit on 75 μA?
3. Kui suur on voolutugevus lauavalgusti juhtmes, kui 10 minuti jooksul läbib juhtme ristlõiget laeng 162 C?
4. Auto käivitamisel on voolutugevus käivitis 150 A. Mitme kuloni suurune elektrilaeng läbib käivitit ja akumulaatorit ühendava juhtme ristlõiget, kui käiviti töötab 5 sekundit?
5. Mitme kuloni suurune elektrilaeng läbib välgukanali ristlõiget 0,5 ms jooksul, kui voolutugevus selles on 20 000 A?
6. Voolutugevus taskulambipirni hõõgniidis on 0,26 A. Kui pika aja jooksul läbib hõõgniidi ristlõiget elektrilaeng 39 C?
7. Voolutugevus elektripliidi küttekehas on 5 A. Mitu elektroni läbib 1 s jooksul küttekeha ristlõiget?

11. AMPERMEETER. VOOLUTUGEVUSE MÕÕTMINE

Kuidas saadakse ampermeetri näit?

Kuidas ühendatakse ampermeeter elektriseadmega, milles mõõdetakse voolutugevust?



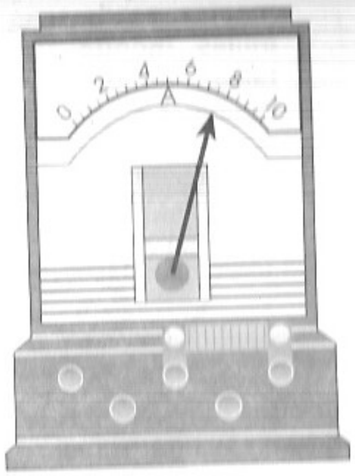
Voolutugevust mõõdetakse **ampermeetriga**. Ampermeeter on voolutugevuse mõõtmiseks kohandatud galvanomeeter. Kuna paljud elektrimõõteriistad on väliselt sarnased, siis ampermeetri eristamiseks on tema skaalal täht "A" (joonis 11.1).

Iga ampermeetriga saab mõõta voolutugevust ainult teatud kindlas vahemikus, mis on määratud selle riista **mõõtepiirkonnaga**. Näiteks joonisel 11.1 kujutatud ampermeetri mõõtepiirkond on nullist amprist kümne amprini. Selle ampermeetriga ei saa mõõta voolutugevust, mis on suurem kui 10 A. Tühistust suurema voolutugevuse korral võib mõõteriista mähis kuumeneda nii tugevasti, et põleb läbi. Joonisel 11.1 kujutatud ampermeetriga ei saa mõõta ka voolutugevusi, mille suurus on mõnikümmend milli- või mikroamprit. Mõõteriist ei ole selliste voolutugevuse mõõtmiseks piisavalt tundlik. Väiksi voolutugevusi mõõdetakse milli-, mikro- või nanoampermeetriga. Neil mõõteriistadel on vastavalt mõõtepiirkonnale skaalal tähis "mA", "μA" või "nA".

Ampermeetri skaala on jagatud **jaotisteks**. Jaotise väärtus võib olla amprites, selle osades või kordsetes ühikutes. Skaalajaotise väärtus arvutatakse, jagades mõõtepiirkonna suurima väärtuse jaotiste arvuga. Joonisel 11.1 kujutatud amper-

Ampermeetrid

11.1. Kuidas eristada ampermeetrit teistest elektrimõõteriistadest?



Joonis 11.1.
Ampermeetri skaala.

11.2. Mida iseloomustab ampermeetri mõõtepiirkond?

11.3. Kuidas arvutatakse skaalajaotise väärtus?

meetri 10-amprine skaala on jaotatud kahekümneks võrdseks osaks. Skaalajaotise väärtuseks on seega 0,5 A.

Skaalajaotise väärtus määrab selle, kui suure intervalliga saab voolutugevust mõõta. Kui jaotise väärtus on 0,5 A (joonis 11.1), siis selle ampermeetriga saab mõõta voolutugevust 0,5 ampri suuruse intervalliga vahemikus null kuni kümme amprit. Mõõtmistulemused võivad seega olla näiteks 2 A, 2,5 A, 3 A, 3,5 A jne. Selle ampermeetriga mõõtes ei saa voolutugevuse väärtuseks olla 1,7 A või 4,3 A ega saa sellega mõõta voolutugevust, mis on väiksem kui 0,5 amprit.

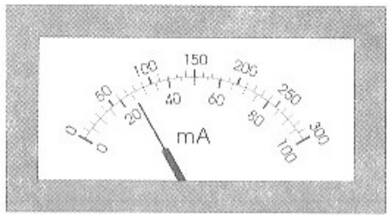
11.4. Kuidas saadakse ampermeetri näit?

Voolutugevuse mõõtmisel peatub ampermeetri osuti skaala mingil jaotisel. Et saada **näitu**, tuleb lugeda jaotiste arv skaala algusest kuni osutini ja korrutada see jaotise väärtusega. Näiteks, kui osuti on peatunud 15. jaotisel ja jaotise väärtuseks on 0,5 A, on mõõdetav voolutugevus 7,5 A.

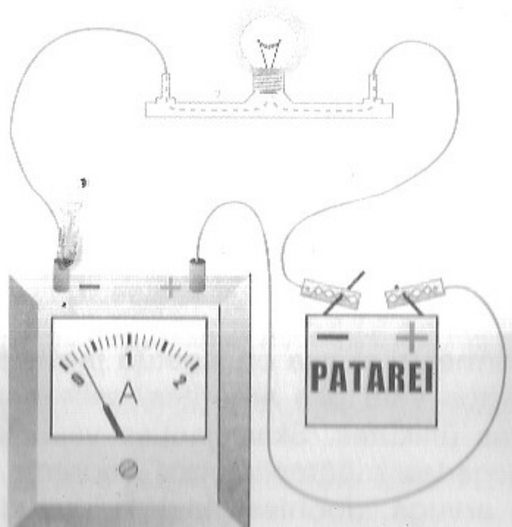
Mõnel ampermeetril on mitu mõõtepiirkonda. Sellisel mõõteriistal võib olla ka mitu skaalat (joonis 11.2). Kui ampermeetril on skaalasid rohkem kui üks, tuleb näidu määramisel kasutatada mõõtepiirkonnale vastavat skaalat. Kui aga ampermeetril on ainult üks skaala, tuleb iga mõõtepiirkonna jaoks arvutada skaalajaotise väärtus eraldi.

11.5. Kuidas ühendatakse ampermeeter seadmega, milles mõõdetakse voolutugevust ?

Joonisel 11.3 on näidatud, kuidas mõõdetakse voolutugevust elektrilambis. Selleks ühendatakse ampermeetri üks klemmidest juhtme abil vooluallika ühe klemmiga, ampermeetri teine klemm aga



Joonis 11.2. Mitme mõõtepiirkonnaga ampermeetril võib olla mitu skaalat.



Joonis 11.3. Voolutugevuse mõõtmine elektrilambis.

ühe klemmiga. Ampermeetri ja lambi sellist ühendust nimetatakse järjestikühenduseks. Seega, ampermeeter ühendatakse jadamisi seadmega, millise voolutugevust mõõdetakse.

Ampermeetri ühendamisel vooluallika ja teiste elektriseadmetega tuleb silmas pidada voolu suunda. Klemm, mis on tähistatud märgiga "+", ühendatakse vooluallika positiivse poolusega ühendatud juhtmega.

Ampermeeter ühendatakse seadmega jadamisi sellepärast, et kõigis jadamisi ühendatud juhtides on voolutugevus sama väärtusega. Juhul kui voolutugevus oleks jadamisi ühendatud juhtides erinev, peaksid samal ajahetkel läbima erinevaid juhte erineva suurusega elektrilaengud. Sel juhul toimiks juhis laetud osakesed kuhjuksid, mõnes teises juhis oleks neid samal ajahetkel jälle väga vähe. Kuid nagu torus voolav vesi ei saa koguneda toru ühtsesse lõikudesse, nii ei saa jadamisi ühendatud juhtides kuhjuda ka laetud osakesed. Sellepärast ongi seadmega jadamisi ühendatud ampermeetris voolutugevuse väärtus sama mis seadmes.

Ampermeetri tohib vooluallikaga ühendada ainult siis, kui temaga jadamisi on ühendatud ka mingi teine elektriseade. Ampermeetrit üksi vooluallikaga ühendada ei tohi, sest voolutugevus mõõteriista mähises võib kujuneda nii suureks, et mõõteriist rikneb.

Voolutugevus on füüsikaline suurus, mille tähiseks on *I*.

Voolutugevus on arvuliselt võrdne ajaühikus juhi ristlõiget läbinud elektrilaengu suurusega.

$$I = \frac{q}{t}.$$

Voolutugevuse ühikuks on 1 amper, lühendatult 1 A.

Voolutugevust mõõdetakse ampermeetriga.

1. Ampermeetri skaalal on 10 jaotist. Kui suur on skaalajaotise väärtus ja kui suur on voolutugevus, kui:
   a) ampermeetri mõõtepiirkond on 0–10 A ja ampermeetri osuti asub 7. jaotisel?
   b) ampermeetri mõõtepiirkond on 0–15 A ja ampermeetri osuti asub 4. jaotisel?
   c) ampermeetri mõõtepiirkond on 0–100 mA ja ampermeetri osuti asub 6. jaotisel?
   d) ampermeetri mõõtepiirkond on 0–5 A ja ampermeetri osuti asub 9. jaotisel?
2. Voolutugevust on tarvis mõõta intervalliga, mis ei oleks suurem kui 0,05 A. Kas on võimalik kasutada ampermeetrit, mille skaalal on 10 jaotist ja mille mõõtepiirkond on: a) 0–1 A? b) 0–0,5 A? c) 0–100 mA?

12. ALALISVOOL JA VAHELDUVVOOL

➲ **Mida nimetatakse alalisvooluks?**

➲ **Mida nimetatakse vahelduvvooluks?**

12.1. Milliste vooluallikatega ühendatud juhtides tekib alalisvool, milliste vahelduvvool?

Elektrivoolu on kahte liiki: **alalisvool** ja **vahelduvvool**. Alalisvool tekib juhtides, mis ühendatakse aku või taskulambipatareiga. Juhtides, mis elektrivõrgu kaudu on ühendatud elektrijaamades töötavate vahelduvvoolugeneraatoritega, on vahelduvvool. Kuna kõik majad on ühendatud ühtsesse elektrivõrku, on meie kodudes kasutusel põhiliselt vahelduvvool.

12.2. Kuidas teha kindlaks, kas juhis on alalis- või vahelduvvool?

Nii taskulambipirni kui lauavalgusti lambi hõõgniidid soojenevad elektrivoolu toimel ja hõõguvad heledalt. Neid vaadeldes ei oska me eristada, milline vool kummaski lambis on. Alalis- ja vahelduvvoolu erinevus tuleb ilmsiks siis, kui mõõta lambides voolutugevuse sõltuvust ajast. Voolutugevuse mõõtmised tuleb läbi viia aga väga lühikeste ajavahemike järel, näiteks iga tuhandik sekundi mõõdudes. Ampermeetriga nii kiiresti mõõta pole võimalik. Sellisteks mõõtmisteks sobib mõõteriist, mida nimetatakse ostsillograafiks. See mõõteriist esitab mõõtmistulemused graafikuna oma ekraanil. Võrreldes alalis- ja vahelduvvoolu graafikuid selgubki, mille poolest need kaks elektrivoolu teineteisest erinevad.

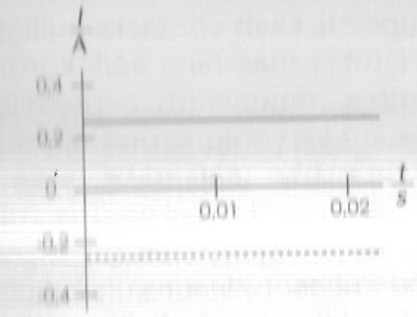
12.3. Kuidas sõltuvad alalisvoolu tugevus ja suund ajast?

Joonisel 12.1 oleval graafikul on kujutatud voolutugevuse sõltuvus ajast taskulambipatareiga ühendatud pirnis. Seda sõltuvust kujutab sirge, mis on paralleelne graafiku ajateljega. See tähendab, et kogu mõõtmisaja jooksul on voolutugevus lambis sama väärtusega.

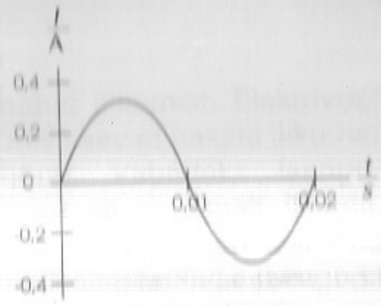
Kui muuta voolu suund lambis esialgsele vastupidiseks, on voolutugevuse sõltuvust ajast kujutav sirge allpool ajatelge. Need mõõtmistulemused on graafikul esitatud katkendliku joone abil. Voolutugevuse negatiivne väärtus graafikul tähendabki just seda, et voolu suund on esialgsele vastupidine. Voolutugevuse positiivne ja negatiivne väärtus graafikul annavad teavet voolu suuna kohta lambis.

12.4. Mida nimetatakse alalisvooluks?

Mõõtmistulemustest selgub, et taskulambipatareiga ühendatud lambis ei muutu kogu vaatlusaja jooksul ei voolu suund ega voolutugevus. **Voolu, mille suund ja tugevus ajas ei muutu, nimetatakse alalisvooluks.**



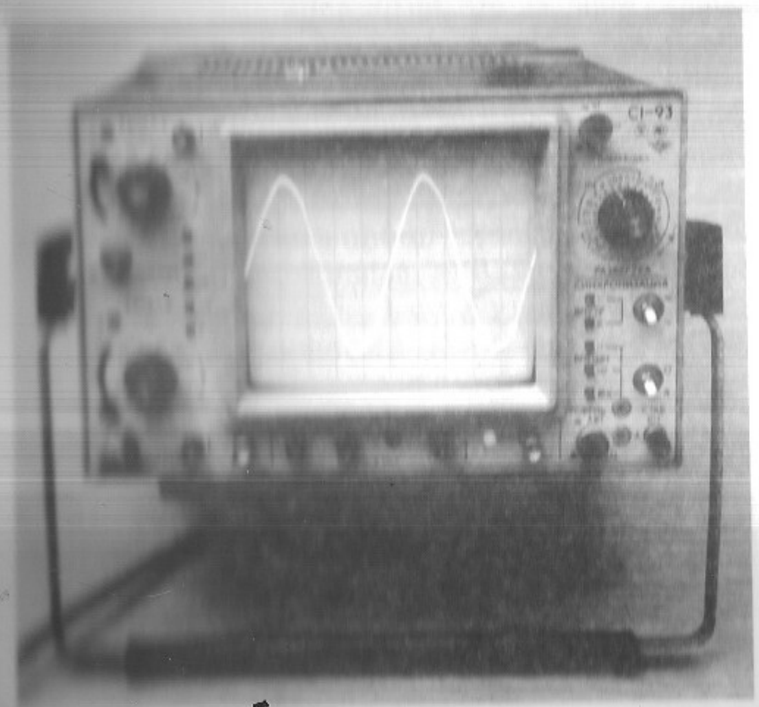
Joonis 12.1. Voolutugevuse sõltuvus ajast patareiga ühendatud lambis.



Joonis 12.2. Voolutugevuse sõltuvus ajast laualambis.

12.5. Kuidas sõltuvad vahelduvvoolu tugevus ja suund ajast?

Joonisel 12.2 esitatud graafikul on kujutatud voolutugevuse sõltuvus ajast laualambis. Teatud ajavahemiku jooksul suureneb voolutugevus nullist maksimaalse väärtuseni. Pärast seda hakkab voolutugevus vähenema ning peagi on see jälle võrdne nulliga. Edasi hakkab voolutugevus lambis suurenema, kuid voolu suund on esialgsele vastupidine. Kui voolutugevus on saavutanud oma maksimaalse väärtuse, hakkab see uuesti vähenema. Hetkel, kui



Ostsillograaf

voolutugevus saab võrdseks nulliga, muutub voolu suund lambis taas ning kõik kordub otsast peale. Laualambis muutuvad perioodiliselt nii voolu tugevus kui ka voolu suund. Voolu suund muutub lambis iga ühe sajandiku sekundi möödudes. Seega on vool ühe sekundi jooksul suunatud 50 korda ühes ja 50 korda vastupidises suunas.

12.6. Mida nimetatakse vahelduvvooluks?

Heliõpetuses tutvusime võnkumiste mõistega. Heli tekib siis, kui heliallikas, näiteks viiulikeel, võngub ümber oma tasakaaluasendi. Ühes sekundis sooritatud täisvõngete arvu nimetatakse võnkesageduseks. Voolu suuna ja voolutugevuse muutust valgusti lambis võime vaadelda voolu võnkumistena. Vooluvõnkumiste sagedus valgustis on 50 Hz. **Voolu, mille suund ja tugevus ajas perioodiliselt muutuvad, nimetatakse vahelduvvooluks.**

12.7. Millal tekib juhis alalisvool?

Voolu suund ja -tugevus lambi hõõgniidis ei muutu, kui vabad laengukandjad liiguvad kogu vaatlusaja jooksul samas suunas ning hõõgniidi ristlõiget läbib igas ajaühikus sama suurusega elektrilaeng. Seega peavad vabadele laengukandjatele mõjuma elektrijõud, mille suurus ja suund kogu vaatlusaja kestel ei muutu. Selline elektrijõud mõjub laetud osakesele ajas muutumatu elektriväljas. Järelikult, alalisvool tekib juhis, milles on ajas muutumatu elektriväli.

12.8. Millal tekib juhis vahelduvvool?

Vahelduvvoolugeneraator tekitab aga juhis elektriväljа, mille suund ja tugevus ajas perioodiliselt muutuvad. Sellises elektriväljas muutub perioodiliselt ka igale vabale laengukandjale mõjuva elektrijõu suund ja suurus. Selle tulemusena hakkavad vabad laengukandjad juhis võnkuma. Kui näiteks ühe sajandiku sekundi jooksul kõik vabad elektronid liiguvad lambi hõõgniidis ühes suunas, siis sellele järgneva ühe sajandiku sekundi jooksul liiguvad nad hoopis vastupidises suunas. Vabade elektronide selline võnkliikumine kestab seni, kuni lamp põleb.

KOKKUVÕTE

Elektrivabaduks nimetatakse laetud osakeste suunatud liikumist. Elektrivool tekib siis, kui: 1) on olemas vabad laengukandjad, mis saavad hakata liikuma; 2) vabadele laengukandjatele mõjuvad elektrijõud. Vabadeks laengukandjateks nimetatakse laetud osakesi, mis saavad aines vabalt liikuda. Vabadele laengukandjatele mõjuvad elektrijõud siis, kui aines on tekitatud elektriväli. Elektrivoolu suunaks loetakse kokkuleppeliselt positiivse laenguga osakeste liikumise suunda. Elektrivool võib olla inimesele ohtlik.

Elektrijuhi iseloomulikuks tunnuseks on suure hulga vabade laengukandjate olemasolu selles. Mittejuhtides vabu laengukandjaid ei ole. Metallides on vabadeks laengukandjateks vabad elektronid. Metallides tekib elektrivool vabade elektronide suunatud liikumise tulemusena. Elektrolüütide vesilahustes on vabadeks laengukandjateks positiivsed ja negatiivsed ioonid, mis tekivad elektrolüüdi lahustumisel vees. Elektrolüütide vesilahustes tekib elektrivool positiivsete ja negatiivsete ioonide suunatud liikumise tulemusena.

Voolu toimeteks nimetatakse elektrivooluga kaasnevaid nähtusi.
Elektrivoolu soojuslik toime seisneb vooluga juhi soojenemises. Tavalistes tingimustes soojenevad voolu toimel kõik juhid.
Elektrivoolu keemiline toime seisneb selles, et elektrivool eraldab elektrolüütide vesilahustest selle koostisosi. Metallist juhtides voolu keemilist toimet ei esine.
Elektrivoolu magnetiline toime seisneb selles, et vooluga juhi ja magneti vahel esineb vastastikmõju. Voolu magnetiline toime kaasneb elektrivooluga nii metallides kui ka elektrolüütide vesilahustes.

Galvanomeetriga saab kindlaks teha elektrivoolu olemasolu juhis. Galvanomeetri töö aluseks on püsimagneti ja vooluga mähise vastastikmõju.

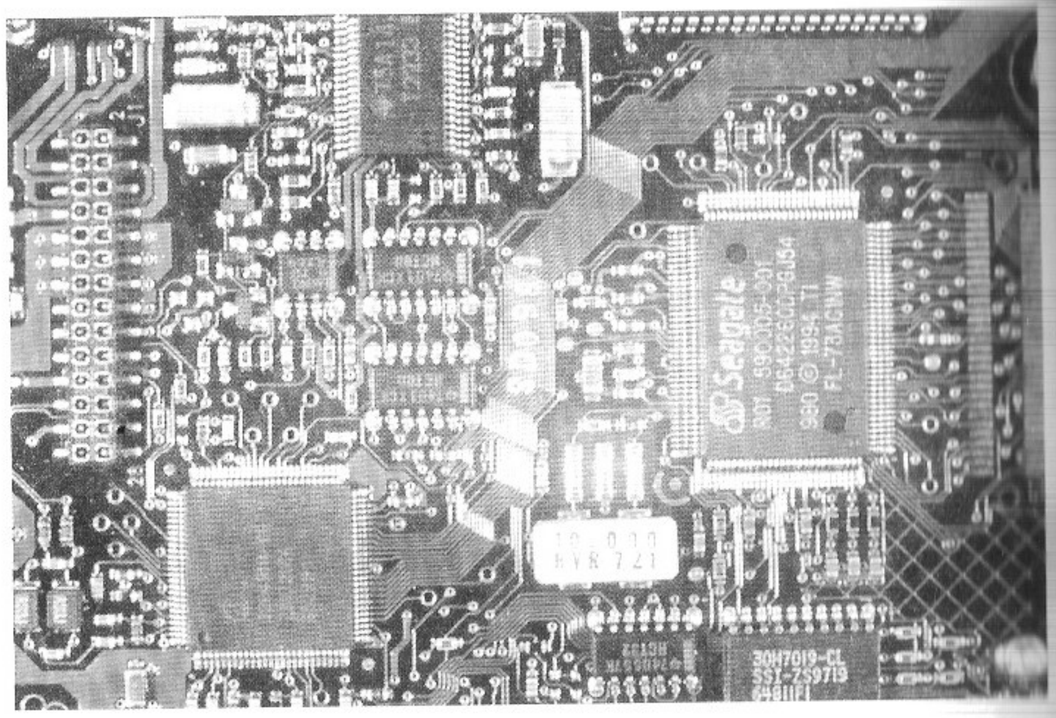
Voolutugevus on füüsikaline suurus, mis arvuliselt on võrdne ajaühikus juhi ristlõiget läbinud elektrilaengu suurusega. $I = \frac{q}{t}$. Voolutugevuse ühikuks on 1 amper, ühiku tähis on 1 A. $1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}}$. Voolutugevus, mille väärtus on üle 100 mA, võib olla inimese jaoks surmav. Voolutugevus, mille väärtus on alla 1 mA, on inimesele ohutu.

Voolutugevust mõõdetakse **ampermeetriga**. Ampermeeter ühendatakse jadamisi juhiga, milles voolutugevust mõõdetakse. Kui ampermeetriga pole ühendatud jadamisi teisi elektriseadmeid, ei tohi ampermeetrit vooluallikaga ühendada.

Elektrivoolu liigitatakse alalisvooluks ja vahelduvvooluks. Alalisvooluks nimetatakse voolu, mille suund ja tugevus ajas ei muutu. Alalisvool tekib juhis, mis on ühendatud taskulambipatareiga või akuga. Vahelduvvooluks nimetatakse voolu, mille suund ja tugevus ajas perioodiliselt muutuvad.

3
PEATÜKK

VOOLURING



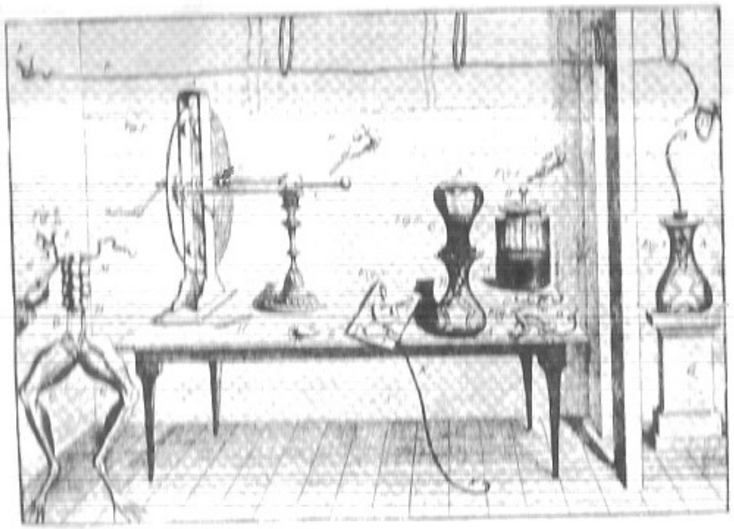
Kuni vooluallika leiutamiseni ei olnud võimalik uurida elektrivooluga kaasnevaid nähtusi. Kestev elektrivool on ju ainult vooluallikaga ühendatud juhis. Vooluallikas leiutati 18. sajandi viimastel aastatel ja juba paar aastat hiljem avastati voolu soojuslik toime. Peagi selgus, et voolu toimete tugevus sõltub voolutugevusest. Millest sõltub aga voolutugevus?

Vooluallikas ja sellega ühendatud juhid moodustavad vooluringi. Vooluallikaid on erinevaid ja ka juhte võib vooluallikaga ühendada mitmel viisil. Nagu peagi selgub, sõltub voolutugevus nii vooluallika kui ka sellega ühendatud juhtide omadustest.

KONNA KOIVAST ESIMESE VOOLUALLIKANI

1780. aastal tegi itaalia arst, Bologna Ülikooli anatoomiaprofessor Luigi Galvani (1737-1798), ebatavalise avastuse. Konnade lahkamisel pani ta tähele, et ajja konnalt eemaldatud koiva lihased tõmbusid järsult kokku, kui terasnuga puudutas selle närve.

Luigi Galvani



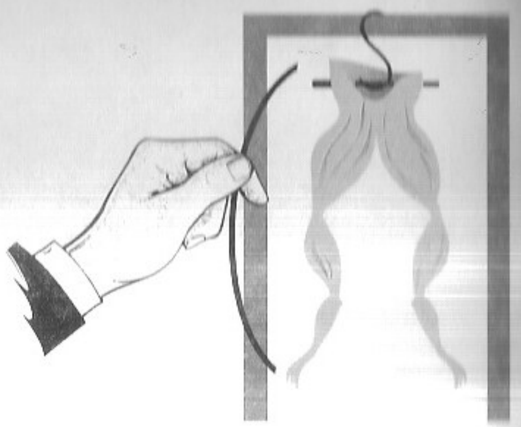
Galvani laboratoorium (gravüür).

Galvani oletas, et nähtus on seotud elektriniistade lähedusega preparaadiplaual. Tolle aja teadlased tegelesid ju uurimistööga teaduse eriinstitutes valdkondades. Nii olid ka Galvani laboratooriumilaual kõrvuti arstiteaduse ja füüsikaseadmed. Järgnevate katsete tulemused kinnitasid ta oletust. Ilmnes, et koiva lihased tõmbuvad kokku just siis, kui üks eksperimentaatorist puudutab metallesemega selle närve, teine aga tekitab samal ajal laua teises otsas elektrisädeme.

Elektrisädemega üheaegselt tuksatav konnakoib viis Galvani mõttele, et nähtus võib olla seotud õhus oleva elektriga. Oma hüpoteesi kontrollimiseks korraldas ta kummalise katse. Ta riputas oma maja katuse kohale tõmmatud kaasi kulge mitu konna. Iga konna ühe koiva ühendas ta juhtmega, mille teine ots oli maandamise eesmärgil lastud kaevu. Ülesriputatud konnade lihased hakkasidki äikese ajal tõmblema. Kuid lihased tõmblesid ka siis, kui valku ei leidnud, taevast aga katsid vaid tumedad äikesepilved.

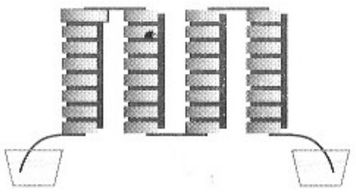
Galvani otsustas katseid korrata selge ilmaga. Ta riputas värskelt preparaadiplaual konnakoivad vaskkonksude abil aias olnud raudvõrele. Vahete vahel ilmus ülesriputatud koib küll tuksatas, kuid mingit seaduspära selles ei ilmenud. Pikaajaliste vaatlustega jõudis Galvani järeldusele, et mitte ükski kord ei saanud koiva tuksatust seostada atmosfäärielektriga. Seega ei leidnud sama oletus katsetes kinnitust.

Ebaonnetumisest hoolimata jätkas Galvani uuringuid. Ta riputas koiva metallkonksu otsa ja puudutas metallvardaga üheaegselt nii konksu kui ka koiba (joonis 13.1). Koib tuksatas igal puudutusel. Ilmnes, et katse tulemus

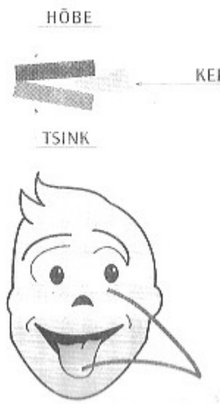


Joonis 13.1. Konna koib tuksatab, kui puudutada raudvardaga üheaegselt koiba ja vaskkonksu.

Alessandro Volta



Volta konstrueeritud keemiline vooluallikas



Joonis 13.2. Volta katsed.

sõltub sellest, millisest metallist konksu ja varras parajasti kasutatakse. Kui konks ja varras rauast, koib ei tuksatanud. Koib ei reageerinud siis, kui kas konks või varras oli elektrit juhtivast ainest. Kui aga üks neist oli hõbedast ja teine rauast, reageeris koib energiliselt.

Galvani arvates võis nähtust seletada kahel viisil:
1. Konna lihastes või närvides tekib elektrilaeng, mis kandub mööda metallvarrast sobivasse kohta ning põhjustab lihaste kokkutõmbe.
2. Elektrilaeng tekib kahe eri metalli kokkupuutel ning konna lihas reageerib sellele kokkutõmbega.

Kuna sel ajal tegeldi palju nn. "elujõu" otsingutega, siis võib-olla just seetõttu valis Galvani nähtuse seletamiseks esimese variandi. Galvani arvas, et lihaste kokkutõmbe põhjustas "loomne elekter". Galvani avastus kutsus esile üldise vaimustuse. Arvati, et kauaotsitud "elujõud" on leitud, et just elekter võibki olla elu saladuseks.

Galvani katsete tulemused olid nii huvipakkuvad, et õhutasid teist itaalia teadlast, Alessandro Volta (1745-1827), uuringuid jätkama. Volta suhtus "loomse elektri" olemasolusse skeptiliselt. Seetõttu seadis ta endale eesmärgiks uurida, kas elektrilaeng võib tekkida kahe eri metalli kokkupuutel. Volta tegi mitmeid lihtsaid ja teravmeelseid katseid. Näiteks, kui keel suruda puhaste tsink- ja vaskplaatide vahele, mille teised otsad on tugevasti kokku pigistatud (joonis 13.2), võib keeles tunda omapärast kihelust. Silmas võivad tekkida valgussähvatused, kui ühest otsast kokkusurutud hõbe- ja tsinkvarraste teiste otstega puudutada üheaegselt keelt ja silmaalust nahka. Nende ja ka mitmete teiste katsete tulemuste põhjal väitis Volta, et Galvani

põhjustas konna lihaste kokkutõmbe kahe eri metalli kokkupuutel tekkinud elektrilaeng. Prepareeritud konnakoib kujutas endast lihtsalt sobivat materjali, mis reageeris elektrilaengule.

Volta jatkas eksperimente ja märkas, et elektrilaengu tekkimiseks kahe metalli kokkupuutel on vajalik ka niiskuse (elektrolüüdi vesilahuse) olemasolu. Seega võib tekkida kahe eri metalli ja elektrolüüdi vesilahuse kontaktis. Järeldus ühtis ka Galvani katsete tulemustega. Galvani katsetes oli elektrolüüdi vesilahuseks koevedelik ja niiskus, mis kattis metallide pinda. Volta esialgsed uuringud olid suunatud sellele, et teha kindlaks, milliste metallide kontakt kutsub esile kõige suurema efekti. Ta avastas, et ühe metalli võib alati asendada ka sõoga. Ja 1799. aasta lõpul demonstreeriski Volta oma enda konstrueeritud keemilist vooluallikat.

Galvani ja A. Volta avastus – **elektrilaengu tekkimine eri metallide ja elektrolüüdi vesilahuse kokkupuutel**, on olnud aluseks mitmete vooluallikate loomisel. Galvani ja Volta katsed olid oolkäijaiks paljude teadlaste katsetele ja avastustele, mis muutsid elu kogu meie planeedil, viisid kaasaegse ajajärgu, mida kokkuvõtvalt iseloomustab sõna "elekter".

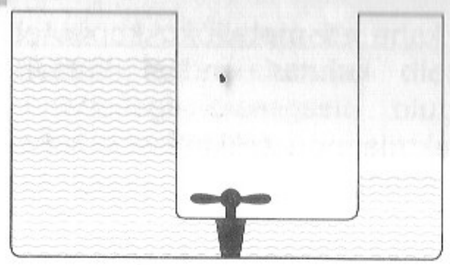
Ka Galvani tõlgendus oma katsetulemustele ei olnud täiesti vale. Umbes sajand hiljem avastati, et tuksuv suda tekitab nõrku elektrimpulsse. Galvani katsed liikuvate elektrilaengute mõjust lihaste kokkutõmbele on aga tänapäeva neurofüsioloogiale.

13. VOOLUALLIKAS

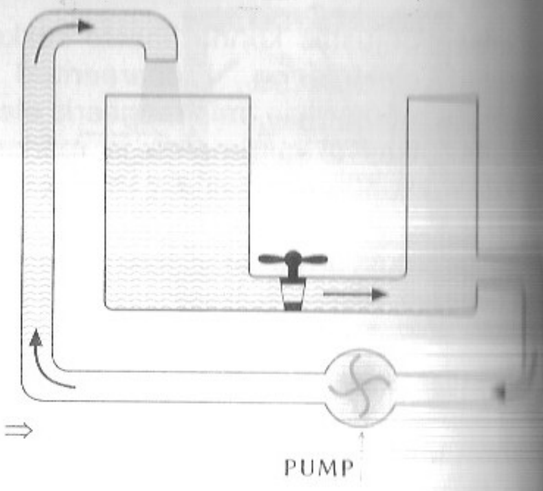
- **Mis õlesanne on vooluallikal?**
- **Mis toimub vooluallikas?**

Kui laetud ja laadimata elektroskoobid metallvarda abil ühendada, tekib selles lühiajaline elektrivool. Vool kestab seni, kuni elektroskoopide laengud saavad piisavalt võrdseiks. Et elektrivool kestaks pikemat aega, tuleb ühele elektroskoobile laengut pidevalt juurde anda ja teiselt seda samal ajal ära juhtida.

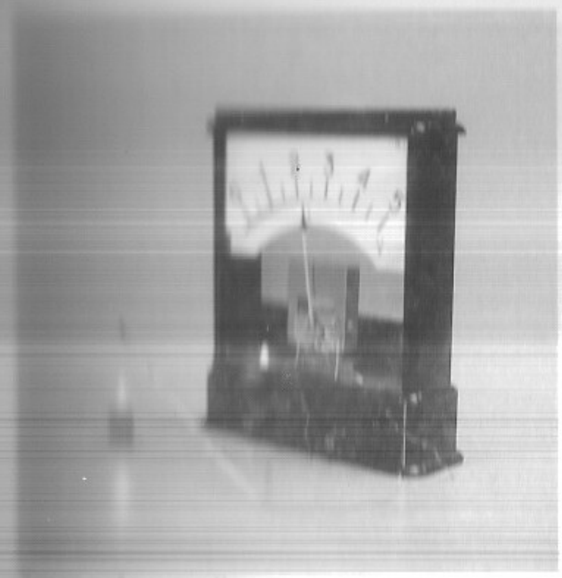
Elektrivoolu juhiks võib võrrelda vee vooluga kahte anumat ühendavas torus. Olgu vasakpoolne anum ja anumaid ühendav toru täidetud veega, parempoolses anumas olgu ainult veidi vett (joonis 13.3). Kuni kraan on suletud, vesi torus ei voola. Pärast kraani avamist hakkab vesi raskusjõu mõjul voolama vasakpoolsest anumast parempoolsesse. Vee vool torus kestab seni, kuni veesammaste kõrgused anumates saavad võrdseiks. Et vesi voolaks pikemat aega, tuleb ühes anumas hoida veesammas kõrgem kui teises. Selleks tuleb teha töid, tõsta vett teisest anumast tagasi esimesse. Kui anumad voolikute ja pumba abil ühendada, teeb selle töö pump (joonis 13.4). Pumba võib tööle panna näiteks inimene või elektrimootor. Vesi voolab anumaid ühendavas torus seni, kuni pump töötab. Anumad, toru, voolikud ja pump moodustavad suletud veevooluringi, kus vesi voolab pidevalt, ilma et seda lisataks või ära võetaks.



Joonis 13.3. Kui kraan avada, hakkab vesi raskusjõu mõjul torus voolama.



Joonis 13.4. Vesi voolab torus seni, kuni ⇒ pump töötab.



Termoelemendis muundub soojusallika [illegible] elektrienergiaks.

Jalgratta dünamos muundub mehaaniline energia elektrienergiaks.

13.1. Mis ülesanne on elektrivooluringis vooluallikal?

Ka juhis võib tekitada kestva elektrivoolu, [illegible] ühendada juht suletud elektrivooluringi, milles [illegible] **vooluallikas**. Kui pump teeb tööd vee ümber paigutamisel ühest anumast teise, siis **vooluallikas teeb tööd laetud osakeste ümberpaigutamisel elektrivooluringis**.

13.2. Mida nimetatakse vooluallika pooluseks?

Vooluallika sees eraldatakse positiivsed ja negatiivsed laetud osakesed. Need koondatakse vooluallika kohtadesse, mida nimetatakse **vooluallika poolusteks.** Igal vooluallikal on kaks poolust. Positiivse laenguga poolust tähistatakse märgiga "+", negatiivse laenguga poolust märgiga "–". Vooluallika pooluste vahel on elektriväli. Kui ühendada poolused juhiga, levib elektriväli ka selles. Seega **vooluallikas on seade, mis tekitab vooluallikaga ühendatud juhis elektrivälja ja säilitab seda pikka aja vältel.**

13.3. Mis toimub vooluallika sees selle töötamisel?

Eriliigilise lenguga osakeste paigutumisel vooluallika poolustele tekib elektriväli ka vooluallika sees. See elektriväli takistab laetud osakeste koondumist poolustele. Vooluallika sees liiguvad ju laetud osakesed elektrijõududele vastassuunas – positiivse laenguga osakesed positiivsele poolusele, negatiivse laenguga osakesed aga negatiivsele poolusele. Seega elektrijõud laetud osakesi poolustele paigutada ei saa. Seda võivad teha mingid välised ehk mitteelektrilised jõud. Ka pumba paneb ju vee vooluringis tööle mingi väline jõud, mitte raskusjõud, mis põhjustab vee voolu anumaid ühendavas torus. Laetud osakeste paigutamisel poolustele teevad välised jõud tööd. Et teha tööd, on aga vaja energiat. Välised jõud teevad tööd mingit teist liiki

[illegible] arvel. **Väliste jõudude töö tulemusena [illegible] vooluallika sees mingi teist liiki energia elektrivälja energiaks** ehk **elektrienergiaks**. [illegible] vooluallika tööbist võib elektrivälja energia [illegible] muunduda kas siseenergia, mehaaniline [illegible], valgusenergia või mõni muu energialiik.

13.4. Milline energia muundub elektrienergiaks keemilises vooluallikas?

Keemilisel reaktsioonil vabanev siseenergia (sageli kasutatakse ka väljendit *keemiline energia*) [illegible] elektrivälja energiaks taskulambipatareis [illegible] ja teistes **keemilistes vooluallikates**.

13.5. Milline energia muundub elektrienergiaks termoelemendis?

Soojusallika siseenergia muundub elektrivälja energiaks **termoelemendis**. Termoelement on valmistatud kahest eri metallist või metallide sulamist. Metallraatide üheq otsad keevitatakse kokku. Kui keevituskohta kuumutada, tekib termoelemendi [illegible] otstega ühendatud juhis elektrivool.

13.6. Milline energia muundub elektrienergiaks elektrivoolugeneraatoris?

Kodumajapidamises, tootmises ja transpordis kasutatav elektrienergia saadakse mehaanilise energia muundamise tulemusena. Mehaaniline energia muundatakse elektrienergiaks **elektrivoolugeneraatoris**.

13.7. Milline energia muundub elektrienergiaks päikesepatareis?

Valgusenergia muundatakse elektrivälja energiaks **fotoelemendis**. Mitu omavahel ühendatud fotoelementi moodustavad **päikesepatarei**. Valgusenergia muundamine elektrienergiaks hoiab kokku kütust ja ei saasta loodust. Seetõttu juuruvad [illegible] päikesepatareisid elektrienergia tootmisel

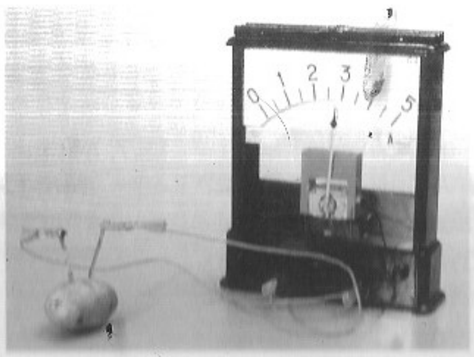
Päikesepatareis muundub valgusenergia elektrienergiaks.

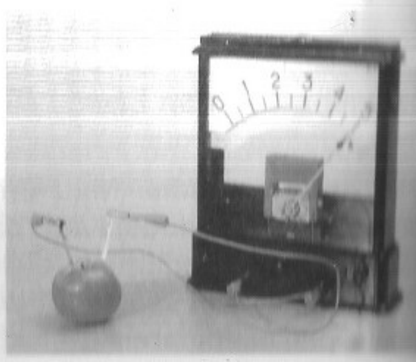
maakera neis piirkondades, kus aastas on palju päikeselisi päevi. Fotoelemente kasutatakse vooluallikatena näiteks taskuarvutites ning kosmoselaevades.

1. Miks ei saa elektrijõud laetud osakesi poolustele paigutada vooluallika sees?
2. Selgita väljendit "vooluallika sees muundub elektrivälja energiaks mingi teist liiki energia."
3. Millist tüüpi vooluallikaid kasutatakse taskuarvutites ja kantavates raadiotes?
4. Milline energialiik muundub elektrivälja energiaks päikesepatareis?
5. Millist tüüpi vooluallikas saastab loodust kõige vähem?

14. KEEMILISED VOOLUALLIKAD

Keemilise vooluallika võib valmistada näiteks kartulist, tsinkvardast ja vaskvardast. Vardad tuleb suruda otsapidi kartulisse, nii et need oleksid teineteisest paari sentimeetri kaugusel. Kui ühendada vardad galvanomeetriga, näitab mõõteriist elektrivoolu olemasolu. Kartuli asemel võib kasutada ka õuna või sidrunit.





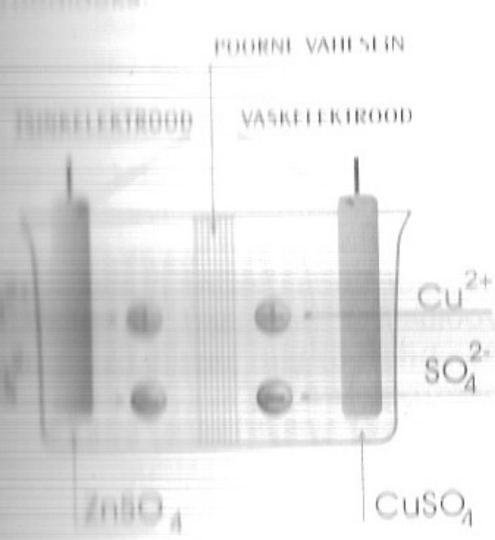
Kartulist või õunast võib teha vooluallika.

Keemilises vooluallikates eralduvad erinimeliselt laetud osakesed keemilise reaktsioonide tulemusena. Keemilisi vooluallikaid (välja arvatud päikesepatarei) nimetatakse **galvaanielementideks**.

1. GALVAANIELEMENDI TÖÖPÕHIMÕTE

Iga päevast aega kasutusel olnud taskulambipatarei lahti lõigata, võib näha, et selle tsingist kesta sisepind on muutunud krobeliseks. Mõnes patareis võib sellest leida isegi auke. Tsink oleks nagu "ära kulunud". Tsingi lahustumine on põhjustatud sellest, et metallid lahustuvad hapete vesilahustes. Sel nähtusel põhinebki galvaanielementide töö.

Vaatleme, kuidas töötab galvaanielement, mille ehitus on järgmine. Klaasist anuma ühes osas on tsinksulfaadi ($ZnSO_4$) vesilahus, millesse on paigutatud tsinkplaat. Anuma teises osas on vasksulfaadi ($CuSO_4$) vesilahus ning sellesse paigutatud vaskplaat (joonis 14.1). Tsink- ja vaskplaate nimetatakse elektroodideks.

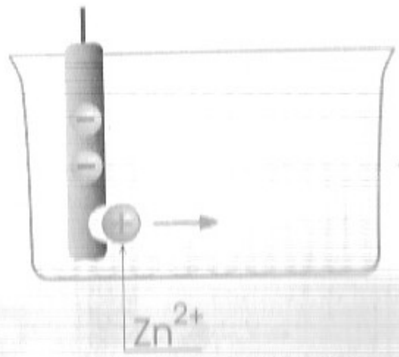


Joonis 14.1

Tsink lahustub tsinksulfaadi vesilahuses, mille tulemusel tekib tsingi positiivne ioon ja kaks vaba elektroni:

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

Positiivsed ioonid lähevad elektrolüüdi vesilahusesse, vabanenud elektronid jäävad aga tsinkplaadile (joonis 14.2). Tsingil tekib neutraalse aatomiga võrreldes vabade elektronide ülejääk ning tsinkplaat omandab negatiivse elektrilaengu. Tsinksulfaadi vesilahus laadub aga positiivselt, sest sellesse on lisandunud tsingi positiivseid ioone. Positiivselt laetud vesilahuse ja negatiivselt laetud



Joonis 14.2. Tsingi lahustumisel lähevad tsingi positiivsed ioonid elektrolüüdi vesilahusesse, vabanenud elektronid jäävad tsinkplaadile.

14.1. Millised osakesed tekivad tsingi lahustumisel?

14.2. Miks omandab tsinkplaat negatiivse elektrilaengu?

14.3. Miks liiguvad vase ioonid elektrolüüdi vesilahusest vaskplaadile?

tsinkplaadi vahel tekib elektriväli, mis takistab tsi
positiivsete ioonide edasist minekut vesilahusesse
seega tsingi lahustumist.

Vasksulfaadi vesilahuses on vase positiivsed
happejäägi negatiivsed ioonid. Vaskelektrood
lahustu vasksulfaadi vesilahuses. Kuna metallis
palju vabu elektrone, siis liiguvad vase positiivse
ioonid elektrolüüdi vesilahusest vaskelektroodi
ühinevad seal vabade elektronidega ja sadestuv
elektroodil:

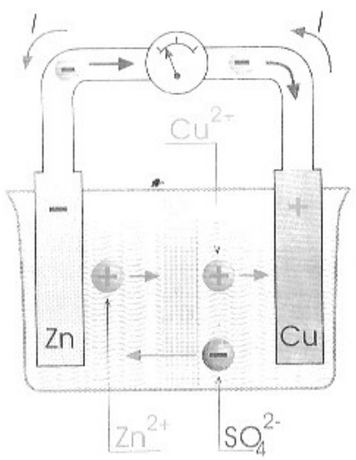
$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu.$$

Vabade elektronide hulk vaskelektroodil väheneb
ning vaskelektrood omandab positiivse elektri
laengu. Tsingi lahustumise ja vase ioonide
sadestumise tulemusena tekivad tsink- ja vas
elektroodidel ehk vooluallika poolustel erilii
elektrilaengud ja pooluste vahel elektriväli.

Kui ühendada elektroodid juhiga, levib elektriv
ka selles ning vabad elektronid hakkavad liikum
tsinkelektroodilt mööda juhti vaskelektroodile
Elektronide arv tsinkelektroodil väheneb. Ka tsi
negatiivne elektrilaeng väheneb ning tsink hakk
uuesti lahustuma. Elektronide arv vasel ag
suureneb ning vase positiivsed ioonid saavad jä
vaskelektroodil sadestuda. Selline protsess kest
seni, kuni vooluallika poolused on ühendatu
juhiga. Juhis püsib aga kestev muutumat
tugevusega elektrivool.

Kui vooluallikas on küllalt kaua töötanud, o
anuma vasakpoolsesse ossa tekkinud palju tsi
positiivseid ioone (Zn^{2+}). Anuma parempoolse
osast on aga suur osa vase positiivsetest ioonide
lahkunud ning sinna on jäänud palju happejääg
negatiivseid ioone (SO_4^{2-}). Kuna erilii
osakesed tõmbuvad, siis happejäägi negatiivse
ioonid liiguvad läbi poorse vaheseina anuma
vasakpoolsesse ossa. Kui vooluallika parempoo
sesse ossa oli lisata täiendavalt vasksulfaati, lõpeta
vooluallikas mõne aja pärast töö.

Vooluallikas ja sellega ühendatud juht mu
dustavad suletud vooluringi, mille eri osades
vabadeks laengukandjateks erinevad laetud os
kesed. Metalljuhtmes on nendeks vabad elektroni
vooluallika sees aga positiivsed ja negatiivse
ioonid. Positiivsed ioonid liiguvad vooluallika see
positiivse pooluse poole, negatiivsed ioonid a



Joonis 14.3. Vooluallikaga ühendatud metallist juhis on laengukandjateks vabad elektronid, vooluallika sees ioonid. Vool on vooluallikas ja juhis sama suunaga.

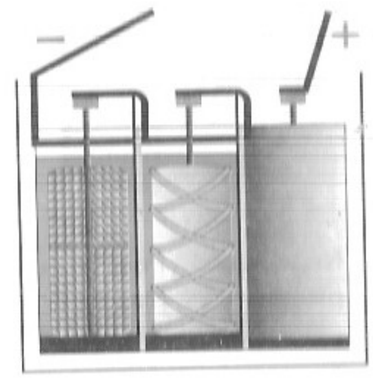
14.4. Milliste protsesside tulemusel tekib vooluallika pooluste vahel elektriväli?

14.5. Millised osakesed on vabadeks laengukandjateks keemilise vooluallikaga ühendatud suletud vooluringis?

pooluse suunas. Seega on nii vooluallika
ka vooluallikaga ühendatud juhis vool
(joonis 14.3).
lahustumisel ja tsinkioonide ühinemisel
eeldanuks vabaneb palju energiat. Vase ioo-
sadestumisel energia neeldub. Energiat neel-
see palju vähem kui seda teises reaktsioonis
Keemiliste reaktsioonide tulemusena te-
galvaanielemendis **siseenergia ülejääk, mis**
muundub elektrivälja energiaks.
elemendi tööga on suhteliselt lühike.
ei ole möödunud katkeb keemiline reaktsioon
reaktsiooni saadused eraldumine. Selliet vooluallikat ei
saaksid enam töökorda seada. **Galvaani-**
elemendis on keemilised protsessid mittepööra-
dad.
taskulampides, raadiotes, fotoaparaatides,
taskuarvutites ja teistes elektroseadmetes
toiteallikatena kasutatavad **kuivelemendid** on kee-
mised vooluallikad. Mitu järjestikku ühendatud
ühendatud vooluallikat moodustavad **patarei**. Nii
on taskulambipatareis on jadamisi ühen
kolm kuivelementi (joonis 14.4).

14.6. Miks tekib keemilises vooluallikas siseenergia ülejääk, mis muundub elektrivälja energiaks?

14.7. Millised on keemilised protsessid galvaanielemendis?



Joonis 14.4. Lapikus patareis on ühendatud jadamisi 3 kuivelementi.

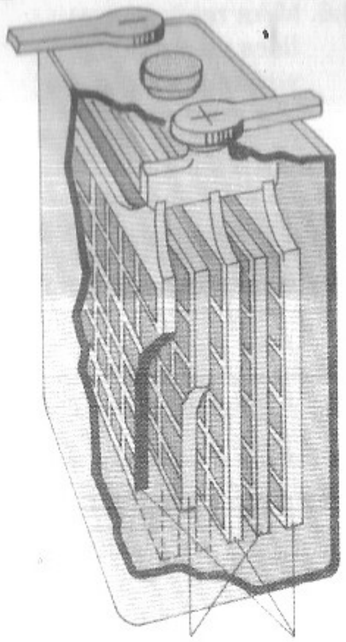
4. AKU

Aku on vooluallikas, mis töötab keemiliste protsesside pööratavuse põhimõttel. Akust saab voolu
ainult siis pärast selle laadimist. Aku laadi-
mist kasutatakse teist alalisvooluallikat. Laadimi-
sel ühendatakse aku positiivne poolus
vooluallika positiivse, aku negatiivne poolus
vooluallika negatiivse poolusega. Aku laadimi
sel toimuvad **selles** keemilised reaktsioonid, milles
vooluallika **elektrivälja energia muundub aku**
siseenergiaks.
Aku pooluste ühendamisel juhiga hakkavad aku
sees **keemilised** reaktsioonid, milles aku
siseenergia muundub uuesti elektrivälja
energiaks. Laetud osakeste ümberpaigutamiseks
juhis teeb elektriväli tööd, mille tulemusena aku
energia väheneb. Öeldakse, et aku tühjeneb.
Aku saab laadida korduvalt.
Aku iseloomustatakse elektrilaengu suurusega,
mis voolu läbides akuga ühendatud juhi ristlõiget
läbib aku täielikul tühjenemisel. Seda suurust

14.8. Millisel põhimõttel töötab aku?

14.9. Kuidas laetakse akut?

14.10. Millise suuruse abil iseloomustatakse akut?



Joonis 14.5. Positiivse ja negatiivse laenguga plaadid on paigutatud akupurki vaheldumisi.

nimetatakse **aku mahutavuseks** ja mõõdetakse **ampertundides** (1A · h). Üks ampertund on suurusselt võrdne elektrilaenguga, mis ühe tunni jooksul läbib juhi ristlõiget, kui voolutugevus juhis on üks amper.

$$1A \cdot h = 1A \cdot 3600\ s = 3600\ C.$$

Näiteks 60 A · h mahutavusega aku võib juhis tekitada elektrivoolu tugevusega 1 A kuuekümne tunni vältel. Voolu tugevusega 6 A võib sama vooluallikas juhis tekitada aga 10 tunni vältel.

Akusid on erinevat liiki. Näiteks plii- ehk happeakudes on väävelhappe vesilahusesse asetatud pliiplaadid. Aku mahutavuse suurendamiseks on plaadid valmistatud võrekujulistena. Plaadid on kaetud aktiivainega. Laetud aku positiivne plaat on kaetud pliidioksiidiga (PbO_2), negatiivne plaat urbes pliiga (Pb). Positiivsed plaadid on mustjaspruunt, negatiivsed halli värvusega. Positiivsed ja negatiivsed plaadid on anumasse ehk akupurki paigutatud vaheldumisi (joonis 14.5). Sõltuvalt otsa tarbest on akus ühendatud jadamisi mitu akupurki.

Akusid kasutatakse autode, traktorite jt. liiklusvahendite, kantavate elektriseadmete (raadiojaamad, telefonid jne.) varustamiseks elektrienergiaga.

?

1. Milline nähtus on galvaanielemendi töö aluseks?
2. Mille poolest erineb aku galvaanielemendist?
3. Selgita väljendit "galvaanielemendis on keemilised protsessid mittepööratavad".
4. Selgita väljendit "akus on keemilised protsessid pööratavad".
5. Millised energia muundumised toimuvad aku laadimisel ja tühjenemisel?

ÜLESANDED

1. Aku mahutavus on 75 A · h. Mitme tunni vältel võib selline täielikult laetud aku tekitada juhis voolu tugevusega 2,5 A?
2. Mitme ampertunni võrra tühjeneb aku auto käivitamisel, kui voolutugevus käivitis on 150 A ja auto käivitatamiseks kulub 2 sekundit?
3. Kui suure elektrilaengu võrra tühjeneb aku auto käivitamisel, kui voolutugevus käivitis on 150 A ja auto käivitatamiseks kulub 4 sekundit?

15 VOOLURING

Millistest osadest koosneb vooluring?
Millised on vooluringi osade tähised elektriskeemidel?
Kuidas asuvad üksteise suhtes jadamisi ühendatud tarvitid?
Kuidas asuvad üksteise suhtes rööbiti ühendatud tarvitid?

15.1. Millises vooluringis saab olla elektrivool?

Et taskulambipirn hakkaks põlema, tuleb see ühendada taskulambipatareiga. Selleks on tarvis kaks juhet. Patarei, sellega ühendatud lamp ja juhtmed moodustavad **suletud vooluringi** (vt. joonis 7.1). Elektrivool saab olla ainult suletud vooluringis.

Lambi kustutamiseks tuleb elektrivool katkestada. Selleks peame vooluringi avama. Vooluringi avada, eemaldades ühe juhtme otsa kas patarei või lambist. Tavaliselt kasutatakse selleks lüliti.

15.2. Millistest osadest koosneb vooluring?

Vooluringi moodustavad omavahel juhtmetega ühendatud vooluallikas, elektritarviti(d) ja lüliti(d). Vooluallikas, elektritarviti, lüliti ja juhtmed on vooluringi osad. Vaatleme, mis ülesanne on vooluringi osadel.

Vooluallikas tekitab ja hoiab vooluringi ühendatud juhtides elektrivälja.

15.3. Mis toimub elektritarvitis?

Tarvitiks võib olla suvaline seade, mis töötab elektrivooluga. Elektritarvititeks on näiteks elektrilambid, elektrilised küttekehad, elektrimootorid, pesumasinad, raadiod, arvutid jne. Ka elektrimootoristad on elektritarvitid. Tarvitis muundub ja elektrivälja energiast mingiks teiseks energiaks. Näiteks elektrilambis muundub elektrienergia soojuseks ja valguseks, pesumasina elektrimootoris aga mehaaniliseks energiaks.

15.4. Milleks kasutatakse juhtmeid?

Juhtmeid kasutatakse vooluringi osade ühendamiseks. Igal elektriseadmel on vähemalt kaks klemmi, mille külge ühendatakse juhtmed.

15.5. Mis on lüliti ülesandeks?

Lüliti abil saab vooluringi vastavalt vajadusele kas sulgeda või avada. Vooluringi avamine tähendab seda, et vooluringi mingis osas asendatakse kaks isolaatoriga. Näiteks, eemaldades juhtme otsa vooluallika klemmilt, asendame selles kohas juhi isolaatoriga, milleks on õhk. Selline tegevus on aga ohtlik ning sellepärast katkestatakse vooluring lüliga.

15.6. Miks esitatakse vooluringid elektriskeemidena?

Vooluringis võib olla mitu elektritarvitit ja lülitit ning vahel ka mitu vooluallikat. Et saada ülevaadet vooluringi osade omavahelisest ühendusest, esitatakse vooluringid joonistena, mida nimetatakse **elektriskeemideks**. Vooluringi osasid tähistatakse elektriskeemidel **tingmärkidega**. Elektriskeemid on mingis mõttes sarnased geograafiliste kaartidega, millel kujutatakse mägede, jõgede, merede, sõnade asulate jne. paiknemist looduses. Ka kaartidel tähistatakse jõed, metsad, maavarad jm. erinevate tingmärkidega. Tabelis 1 on esitatud mõned elektriskeemides kasutatavad tingmärgid.

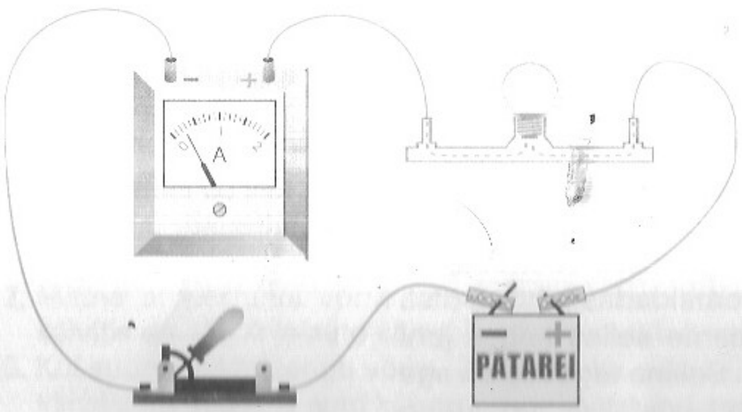
Joonisel 15.1 on kujutatud vooluring, mis koosneb taskulambipatareist, lambist, lülitist, ampermeetrist ja juhtmetest. Sama vooluringi elektriskeem on kujutatud joonisel 15.2.

Elektritarviteid võib omavahel ühendada mitmel viisil. Vaatleme kahte kõige lihtsamat juhtme ühendamise viisi: **jadaühendust** ja **rööpühendust**. Koosnegu vooluring patareist, kahest elektrilambist ja juhtmetest.

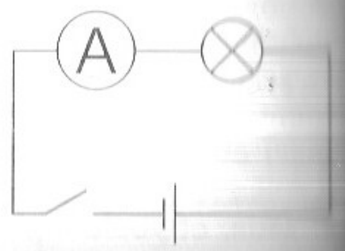
Tabel 1.
Elektriskeemides kasutatavad tingmärgid:

ALALISVOOL	
VAHELDUVVOOL	
GALVAANIELEMENT AKU	
JUHTMETE ÜHENDUS	
JUHTMETE LÕIKUMINE	
MAANDUS	
PISTIKUPESA	
LÜLITI	
HÕÕGLAMP	
GALVANOMEETER	G
AMPERMEETER	A
ELEKTRIKÕLISTI	

1. Jadaühendus. Jadaühenduse korral on elektritarvitid ühendatud omavahel jadamisi ehk järjestikku (joonis 15.3). Patarei üks klemmidest on ühendatud juhtme abil esimese lambi ühe klemmiga. Lambi teine klemm on ühendatud teise lambi klemmiga ning selle lambi teine klemm omakorda patarei teise klemmiga. Selle vooluringi elektriskeem on esitatud joonisel 15.4. Kui siin üks lamp läbi põleb või kui üks lampidest pesast välja keerata, katkeb elektrivool kogu vooluringis ning kustub ka teine lamp.

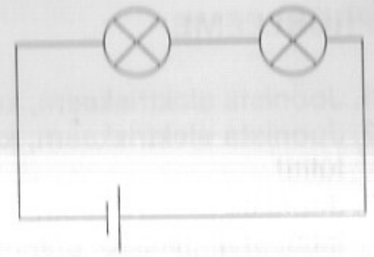


Joonis 15.1. Vooluring.



Joonis 15.2. Vooluringi elektriskeem.

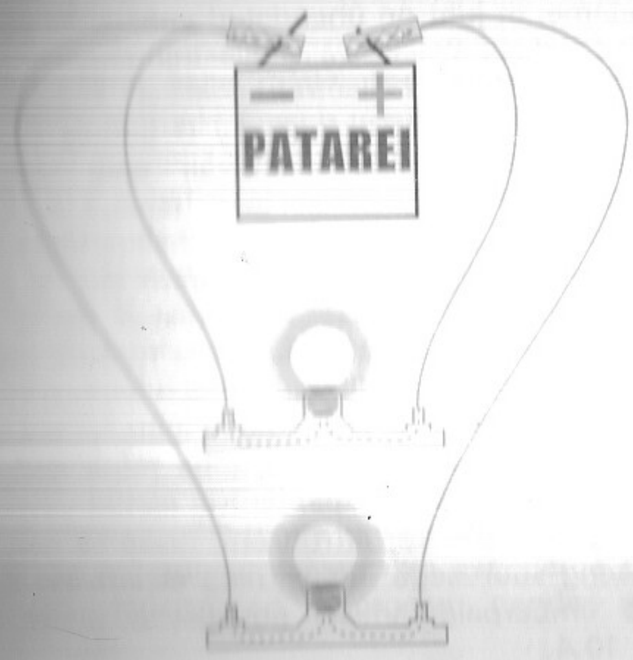
Joonis 15.3. Vooluringis on kaks lampi ühendatud jadamisi.



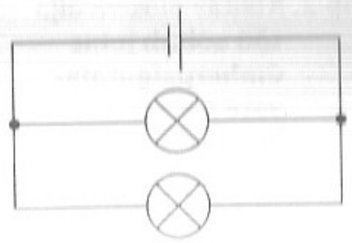
Joonis 15.4. Vooluringi elektriskeem, kus kaks lampi on ühendatud jadamisi.

2. Rööpühendus. Rööpühenduse korral on tarvitid ühendatud rööbiti ehk eraldiseisvalt (joonis 15.5). Patarei üks klemmidest on ühendatud kummagi lambipesa ühe klemmiga. Lambipesade teised klemmid on ühendatud patarei teise klemmiga. Nii on kumbki lamp ühendatud otse patarei klemmidega ning lambid töötavad teineteisest sõltumatult. Kui sellises vooluringis üks lamp läbi põleb (või pesast välja keerata), põleb teine edasi. Lambi läbipõlemisel katkeb ainult vooluringi ühes harus, teises harus vool ei katke. Selle vooluringi elektriskeem on esitatud joonisel 15.6.

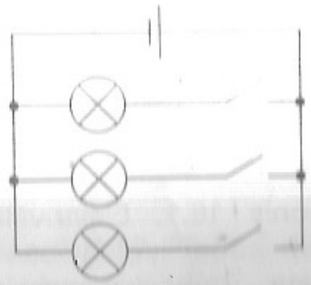
Lambid ühendatakse tarvitiga alati jadamisi. Kui mitu tarvitit on ühendatud rööbiti, siis selleks, et neid saaks ükshaaval sisse ja välja lülitada, tuleb iga lambiga ühendada jadamisi ka lüliti (joonis 15.7).



Joonis 15.5. Vooluringis on kaks lampi ühendatud rööbiti.



Joonis 15.6. Vooluringi elektriskeem, kus kaks lampi on ühendatud rööbiti.



Joonis 15.7. Iga rööbiti ühendatud tarvitiga on ühendatud jadamisi lüliti.

PROBLEEME

1. Joonista elektriskeem, kus on vooluallikas, lamp ja lüliti!
2. Joonista elektriskeem, kus on vooluallikas, kolm jadamisi ühendatud lamp lüliti!
3. Joonista elektriskeem, kus on vooluallikas, kolm rööbiti ühendatud lamp lüliti, millega saab põlema panna ja kustutada korraga kõik lambid!
4. Joonista elektriskeem, kus on kaks lampi, mida saab lüliti(te) abil teineteisest sõltumatult põlema panna ja kustutada.
5. Koridoris on üks laevalgusti ja koridori kummaski otsas ka lüliti. Joonista selline elektriskeem, et lampi saaks põlema panna ja kustutada kummagi lüliti abil.

16. PINGE. PINGE ÜHIK

➲ **Mida nimetatakse pingeks?**

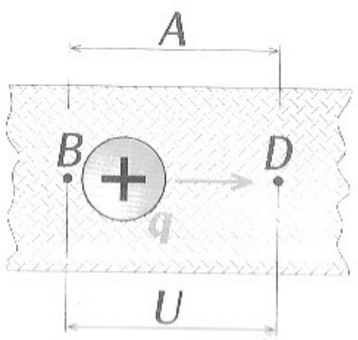
➲ **Millega võrdub pinge ühik?**

16.1. Mida kirjeldatakse elektrivälja pinge mõiste abil?

Kui ühendada juht vooluallikaga, tekib juhis elektrivälja ja vabad laengukandjad hakkavad elektrivälja jõudude mõjul suunatult liikuma. Laetud osakese ümberpaigutamisel teeb elektriväli tööd. Elektrivälja võimet teha tööd laetud osakeste ümberpaigutamisel elektriväljas kirjeldab **elektrivälja pinge.**

16.2. Kuidas elektrivälja töö sõltub juhis ümberpaigutatavate laetud osakeste kogulaengust?

Oletame, et juht on ühendatud vooluallika pooluste lustega. Juhis on elektriväli ja elektrijõudude mõjul liigub teatud hulk laetud osakesi kogulaenguga q juhi punktist B punkti D (joonis 16.1). Tähistame töö, mida elektriväli teeb laetud osakeste ümberpaigutamisel juhis, tähega A. Kui laetud osakesi oleks kaks korda rohkem, oleks ka nende kogulaeng kaks korda suurem ehk $2q$. Nende ümberpaigutamiseks punktist B punkti D peaks elektriväli tegema kaks korda rohkem tööd ehk $2A$, sest elektriväli mõjutab neid osakesi kaks korda suurema jõuga. Tuletame meelde, et töö on võrdne kehale mõjuva jõu ja keha poolt läbitud teepikkuse korrutisega $A=Fs$. Kui laetud osakesi oleks aga kümme korda rohkem, oleks ka nende kogulaeng suurusega $10q$ ning elektrivälja töö nende ümberpaigutamisel punktist B punkti D oleks $10A$.



Joonis 16.1. Elektriväli teeb tööd laetud osakeste ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teise.

Mida suurem on juhis ümberpaigutatavate laetud osakeste kogulaeng, seda suurem on töö, mida

nende ümberpaigutamisel teeb. Töö ja laengu jagatis on aga kõigil vaadeldud juhtudel sama väärtusega:

$$\frac{A}{q} = \frac{2A}{2q} = \frac{10A}{10q}.$$

16.3. Mida nimetatakse pingeks?

Seda töö ja elektrilaengu jagatis ei sõltu ei laengu suurusest ega tehtud töö suurustest. See jagatis iseloomustab elektrivälja ja seda nimetatakse elektrivälja pingeks. **Elektrivälja pingeks juhi kahe punkti vahel nimetatakse elektrivälja poolt laetud osakese ümberpaigutamisel tehtud töö ja osakese laengu jagatist:**

$$\text{pinge} = \frac{\text{elektrivälja töö}}{\text{elektrilaeng}}.$$

Pinge on füüsikaline suurus, mida tähistatakse tähega U. Seose pinge, elektrivälja töö ja elektrilaengu vahel saab avaldada järgmiselt:

$$U = \frac{A}{q}.$$

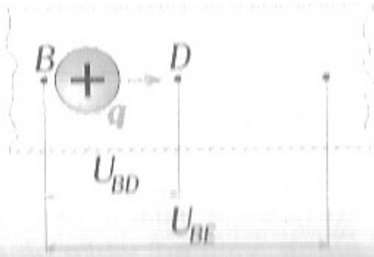
16.4. Millega võrdub pinge juhis kahe punkti vahel?

Elektrivälja pinge juhi kahe punkti vahel on arvuliselt võrdne elektrivälja tööga ühikulise laengu ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teise.

Pinge juhi mingi punkti B ja mingi teise punkti D sõltub selle punkti kaugusest punktist B. Olgu, et punkt E asub punktist B kaugemal kui punkt D (joonis 16.2). Et paigutada laetud osakesi punktist B punkti E, peab elektriväli tegema rohkem tööd kui nende ümberpaigutamisel punktist B punkti D. Sest laetud osakesed läbivad pikema tee. Järelikult $U_{BE} > U_{BD}$. Kõige kaugemal teineteisest olevad punktid, mis asuvad juhi otstes. Seega, pinge on vooluallikaga ühendatud juhi otstel ehk vooluallika poolustel. Pinge on vooluallika poolustel ka siis, kui vooluallikas pole juhiga ühendatud. Et ühendada sama juht kord ühe, kord teise vooluallikaga, võib pinge juhi otstel olla erinev.

Pinge mõõtühiku saame, kui asendame pinge definitsioonis füüsikalised suurused nende mõõtühikutega:

$$1\ \text{pingeühik} = \frac{1\ \text{töö ühik}}{1\ \text{laengu ühik}}.$$



Joonis 16.2. Punkt E asub punktist B kaugemal kui punkt D. Pinge $U_{BE} > U_{BD}$

Kõrgelt langev vesi võib teha palju tööd.

16.5. Mis on pinge ühikuks ja millega see võrdub?

Pingeühik on võrdne tööühiku ja laenguühiku jagatisega. Pingeühikuks on **1 volt**, ühiku tähiseks on **1 V**. Pingeühiku nimetus on tuletatud itaalia füüsiku A. Volta nimest.

Pinge juhi kahe punkti vahel on 1 volt, kui 1 kuloni suuruse elektrilaengu ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teise teeb elektriväli tööd 1 dzaul

$$1\,V = \frac{1\,J}{1\,C}.$$

Elektrivoolu võrreldakse sageli veevooluga. Voolav vesi võib teha tööd, panna hüdroelektrijaamas tööle turbiinid või vesiveskis pöörlema veskikivid. Jõele, kuhu ehitatakse hüdroelektrijaam, kuhjatakse tavaliselt tamm, et vee tase enne tammi oleks võimalikult kõrge. Kõrgelt tammilt langev vesi võib teha palju rohkem tööd kui tasandikujões voolav vesi.

Pinget võib võrrelda veetasemete erinevusega jões enne ja pärast tammi. Mida kõrgem on tamm, seda suurem on veetasemete erinevus ja seda rohkem tööd võib langev vesi teha. Mida suurem on pinge juhi otstel, seda rohkem tööd võib elektriväli teha sama kogulaenguga laetud osakeste ümberpaigutamisel juhis. Kuna pinget võib võrrelda kose või tammi kõrgusega, kasutatakse väljendi *suur pinge* asemel sageli ka väljendit *kõrge pinge*, väljendi *väike pinge* asemel aga väljendit *madal pinge*.

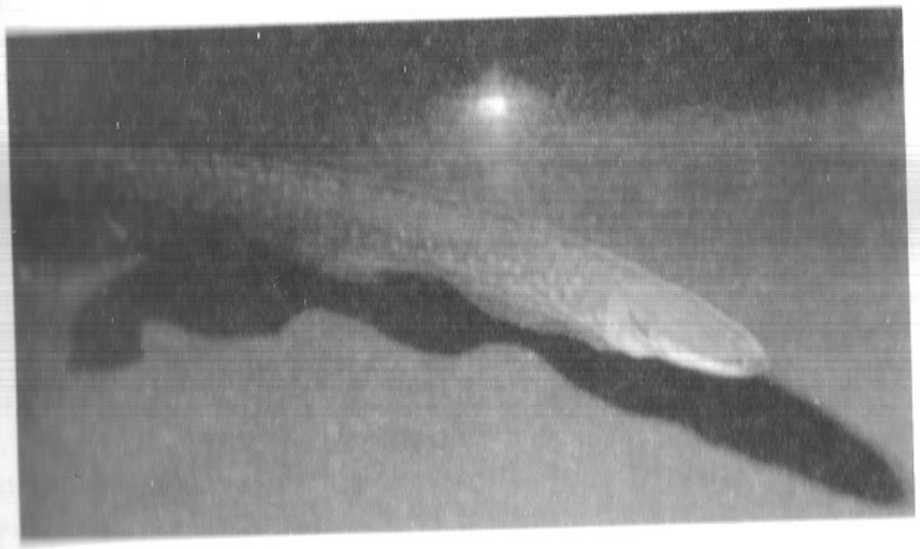
Elektriväli, mille pinge on suur, võib tekitada väga tugeva elektrivoolu. Kõrgepingeliini ja maa vahel on elektriväli, mille pinge võib olla üle 100 000 V. Kui inimene satub üheaegselt kokkupuutesse kõrgepingeliini ja maapinna või Maaga ühenduses oleva juhiga, võib tema kehas tekkida vool tugevusega üle

[illegible] A. Sellise voolutugevuse korral läbib juhi ristlõiget igas sekundis laeng [illegible] 100 C ning elektrivälja töö nii suure laengu ümberpaigutamisel on [illegible] J. Niisama suure töö teeb raskusjõud, kui keha massiga 1000 kg [illegible] suurusega sõiduauto) langeb 1000 m kõrguselt maapinnale. Sellise [illegible] langemine maapinnale põhjustab tohutuid purustusi. Samasuguseid [illegible] võib kutsuda esile ka elektrivool, mis tekib kõrgepingeliini [illegible] ühendavas juhis.

[illegible] ohtliku tugevusega elektrivoolu võib tekitada ka palju madalam [illegible] ka elektrivõrgu pinge 220 V on inimesele eluohtlik.

[illegible] 2. Pingete väärtused

[illegible] närvirakkudes	50–60 mV
[illegible] kuivelemendi poolustel	1,5 V
[illegible] auto aku poolustel	12 V
[illegible] elektrivõrgus	220 V
[illegible] pinge	600–900 V
[illegible] 1 cm pikkuse elektrisädeme otste vahel õhus	30 000 V
[illegible] kõrgepingelistes elektrienergia ülekandeliinides	30 000–1 500 000 V
[illegible] äikesepilvede vahel	100 000 000 V



[illegible] kaladel on erilised elektrielundid, milles keemiline energia muundub [illegible] Sellised kalad orienteeruvad ja annavad endast liigikaas[illegible] märku nõrkade perioodiliste elektriimpulsside abil. Elektrirai, elektri[illegible] ja elektriangerjas suudavad tekitada isegi lühiajalisi kõrgepingelisi [illegible] millega nad ulmastavad või surmavad oma saagi. Aafrika [illegible] elava elektrisäga elektrielundid tekitavad pinge kuni 400 V, [illegible] Ameerika mageveekogudes elav elektriangerjas võib aga oma sabas [illegible] elektrielundi abil tekitada pea ja saba vahel pinge isegi 600–900 V. [illegible] elektrilöök on ka inimesele surmav.

NÄIDISÜLESANNE

Pinge taskulambipirni hõõgniidi otstel on 3,5 V. Kui suur on elektrivälja töö 0,26 C suuruse elektrilaengu ümberpaigutamisel lambi hõõgniidis?

ANDMED: LAHENDUS.

U=3,5 V — Avaldame elektrivälja töö pinge valemist $U = \frac{A}{q}$.

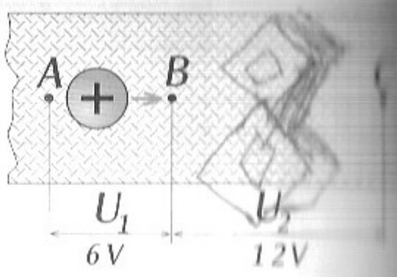
q=0,26 C — $A=Uq$ — A=3,5 V · 0,26 C=0,91 J

A=?

VASTUS. Elektrivälja töö 0,26 C suuruse elektrilaengu ümberpaigutamisel lambi hõõgniidis on 0,91 J.

ÜLESANDED

1. Mitu millivolti on 0,005 V ja 2500 μV?
2. Mitu kilovolti on 3 000 000 V?
3. Kui suur on pinge lambi hõõgniidi otstel, kui elektriväli teeb 3,5 C suurust elektrilaengu ümberpaigutamisel lambis tööd 42 J?
4. Pinge juhi otstel on 12 V. Kui suure elektrilaengu ümberpaigutamisel juhis teeb elektriväli tööd 18 J?
5. Pinge lambi hõõgniidi otstel on 220 V. Kui palju tööd teeb elektriväli 0,25 C suuruse elektrilaengu ümberpaigutamisel lambis?
6. Juhis on elektriväli. Pinge punktide A ja B vahel on 6 V. Pinge punktide B ja C vahel on 12 V (joonis 16.3). Kui suur on pinge elektrivälja punktide A ja C vahel?



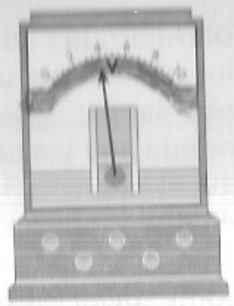
Joonis 16.3

PROBLEEME

1. Voolu soojuslik toime sõltub voolutugevusest juhis. Mida suurem on voolutugevus, seda rohkem juht soojeneb. Kuidas seletada, et elektrivõrku ühendatud laualamp valgustab tuba palju rohkem kui patareiga ühendatud taskulambipirn, olgugi et voolutugevus kummaski lambis on ligikaudu sama suurusega (0,26 A)?
   Näpunäide: tuleta meelde, millistel pingetel need lambid töötavad.
2. Esikus on laevalgusti, elektrikõlisti koos lambiga ja pistikupesa. Esikusse tulevad pingestatud juhtmed vooluallikalt. Vali sobiv arv lüliteid ja joonista elektriskeem, kus pistikupesa oleks pidevalt pingestatud, laevalgustit saaks põlema panna ja kustutada ning elektrikõlisti töötaks koos selle juures oleva lambiga.

17 VOLTMEETER. PINGE MÕÕTMINE

Millega mõõdetakse pinget?
Kuidas tuleb jälgida mõõtmisteks sobiva voltmeetri valikut?
Kuidas ühendatakse voltmeeter juhiga?


Joonis 17.1. Voltmeeter.

17.1. Mille järgi eristatakse voltmeetrit teistest elektrimõõteriistadest?

Joonis 17.2.

17.2. Kuidas ühendatakse voltmeeter juhiga, mille otstel tahetakse pinget mõõta?

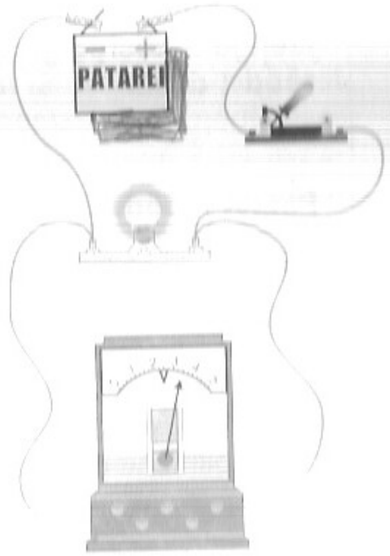
Pinget mõõdetakse **voltmeetriga**. Voltmeeter on [illegible] mõõtmiseks kohandatud galvanomeeter. [illegible] elektrimõõteriistadest eristamiseks on skaalale märgitud täht "V" (joonis 17.1). [illegible] tähtmärk on kujutatud joonisel 17.2.

[illegible] kasutatakse pinge mõõtmiseks [illegible] voltmeetrit. Selle skaalal on märk "–". [illegible] on vahelduvvool, kasutatakse pinge [illegible] vahelduvpinge voltmeetrit, mille [illegible] on märk "≈".

[illegible] pinge mõõtmist hinnatakse mõõdetava [illegible] vaatus, et valida sobiva mõõtepiirkonaga [illegible]. Lubatust suurema pinge mõõtmisel [illegible] voltmeetri mähis läbi põleda. Voltmeetri [illegible] on jagatud jaotisteks. Sõltuvalt mõõteriistast [illegible] väärtus antud kas voltides, selle osades [illegible] Voltmeetril võib olla mitu [illegible] ja ka mitu skaalat.

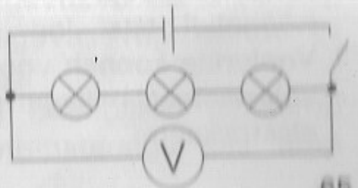
[illegible] ühendatakse rööbiti juhiga, mille [illegible] tahetakse mõõta. Kui pinget on tarvis [illegible] elektrilambil, tuleb voltmeetri klemmid [illegible] lambipesa klemmidega (joonis 17.3). [illegible] mõõtmiseks mitme jadamisi ühendatud juhi [illegible] ühendatakse mõõteriist kõigi nende juhtide [illegible] (joonis 17.4). Voltmeeter on ehitatud [illegible] mõõteriista ühendamisel juhiga pinge juhi [illegible] ei muutu.

[illegible] juhis on alalisvool, tuleb voltmeetri ühendamisel jälgida voolu suunda juhis. Voltmeetri [illegible], millel on tähis "+", ühendatakse juhtmega, [illegible] tähtub vooluallika positiivselt pooluselt. [illegible] vahelduvpinge voltmeetri ühendamisel ei ole tähtis [illegible] voltmeetri klemm kumma juhtmega ühen-



Joonis 17.3. Pinge mõõtmine.

⇒



[illegible] 17.4. Pinge mõõtmine jadamisi ühendatud [illegible] otstel.

Voltmeetriga võib mõõta pinget vooluallika klemmidel ka siis, kui vooluallikas ei ole ühendatud mingi teise elektritarvitiga. Selliselt mõõdetud näiteks lapiku taskulambipatarei klemmidel pinge 4,5 V. Kui patarei ühendada aga taskulambipirn ja mõõta siis pinget patarei klemmidel, on väärtuseks hoopis 3,5–3,7 V. Kumb tulemus on õige? Õiged on mõlemad, kuna kummalgi juhul mõõdetakse erinevat füüsikalist suurust. Mõõtes pinget lambiga ühendamata patarei klemmidel, mõõdetakse tegelikult vooluallika iseloomustavat elektromotoorjõudu. Lapikul taskulambipatareil on see 4,5 V. Elektromotoorjõust tuleb juttu keskkooli elektrikursuses. Kui vooluallikaga ühendatud lamp või mingi muu elektritarviti, on pinge vooluallika klemmidel alati väiksem vooluallika elektromotoorjõust.

Pinge on füüsikaline suurus, mis iseloomustab elektrivälja võimet teha tööd laetud osakeste ümberpaigutamisel juhis.

Elektrivälja pinge juhi kahe punkti vahel on arvuliselt võrdne elektrivälja tööga ühikulise elektrilaengu ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teise.

$$U = \frac{A}{q}.$$

Pinge ühik on 1 volt, lühendatult 1 V.

Pinge juhi kahe punkti vahel on 1 volt, kui 1 kuloni suuruse elektrilaengu ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teise teeb elektriväli tööd 1 džaul.

$$1\,\text{V} = \frac{1\,\text{J}}{1\,\text{C}}.$$

Pinget mõõdetakse voltmeetriga.

1. Kui suur on pinge, mida mõõdetakse voltmeeteriga joonisel 17.1, kui voltmeetri mõõtepiirkond on:
   a) 0–10 V;
   b) 0–20 V;
   c) 0–5 V;
   d) 0–300 V.
2. Vooluring koosneb vooluallikast, lambist, lülitist, ampermeetrist ja voltmeetrist. Ampermeetriga mõõdetakse voolutugevust lambis, voltmeetriga pinget lambi hõõgniidi otstel. Joonista vooluringi elektriskeem.
3. Vooluring kooneb vooluallikast, kolmest rööbiti ühendatud lambist, lülitist ja voltmeetrist, millega mõõdetakse pinget lampide otstel. Joonista vooluringi elektriskeem.

TEADUSES SAADAKSE UUSI TEADMISI

[illegible] on raske ja keeruline töö, millega võivad kaasneda juhuslikud [illegible] ja ka ebaõnn. Loodusteadused, nagu füüsika, keemia, bio- [illegible] ammutavad uusi fakte vaatlustest ja katsetest. Katsetest saab [illegible] ka sellele, kas teadlase töö on vilja kandnud, kas töö tulemused [illegible] tegelikkusele.

[illegible] vältel on teaduses kujunenud kindlad võtted looduse tundma- [illegible]. See võtete süsteem kannab **teaduse meetodi** nime.

[illegible] saab algse **probleemist**, mille lahendamine on hetkel oluline. [illegible] tekkida mingi **nähtuse vaatlusest** või vajadusest leida lahen- [illegible] lahendamata ülesandele. Probleemi lahendamiseks püstitatakse [illegible] **ehk teaduslik oletus**, mis tuginеb olemasolevatele teadmistele. [illegible] kinnitamiseks või selle ümberlükkamiseks **planeeritakse eks-** [illegible] tarvi saada katseid. **Katsetulemused registreeritakse, töödel-** [illegible] ning tehakse esmased **järeldused**. Pärast seda püütakse eksperimendi [illegible] **seletada** juba mingi olemasoleva teadusliku teooria abil. Kui see [illegible], on hüpotees leidnud kinnituse ning muutunud **teaduslikuks tõeks**. [illegible] kinnitust ei leia, püstitatakse kas uus hüpotees või planeeritakse [illegible] eksperiment.

[illegible] ajaloos on palju ka selliseid juhtumeid, kus katsetulemuste sobi- [illegible] teooriaga on näidanud olemasoleva teooria piiratust või selle paika- [illegible]. Mingi katse tulemused võivad anda tõuke isegi uue teooria [illegible], mis on eelnevast üldisem ning suudab paremini seletada looduses [illegible].

[illegible] õppetükis tuleb juttu elektriõpetuse ühest tähtsamast seadusest [illegible] seadusest vooluringi osa kohta. Tekst on koostatud nii, nagu osa- [illegible] uurimistöös selle seaduse avastamisel. Koos avastame juba avas- [illegible] kasutades selleks tänapäeva mõõteriistu ja seadmeid. Seetõttu on [illegible] oluliselt lihtsustatud ning erineb sellest, kuidas tegutses omal [illegible]. Tutvudes järgmise õppetükiga, saad uusi teadmisi ja omandad [illegible] ka teadmiste meetodist.

18 OHMI SEADUS

[illegible] sõltub voolutugevus juhis?

[illegible] sõltub voolutugevus pingest juhi otstel?

[illegible] sõltub voolutugevus juhi takistusest?

[illegible]. Õppetükis 10 toodud näidetest selgub, et erinevates elektritar- [illegible] võib voolutugevus olla erinev. Kuna voolutugevusest sõltub voolu [illegible] ilmnemise tugevus, siis tuleb sageli voolutugevust reguleerida. Et [illegible] teha, peame teadma, millest voolutugevus sõltub.

Vastus. Pistikupesa (seinakontakti) klemmidega ühendatud laualamp [illegible]. Kui sama lamp ühendada taskulambipatareiga, siis lamp

Joonis 18.1.

18.1. Kuidas põlevad erinevate vooluallikatega ühendatud lambid?

18.2. Millest lähtudes võib oletada, et voolutugevus juhis sõltub pingest juhi otstel?

18.3. Millest lähtudes võib oletada, et voolutugevus juhis sõltub juhi omadustest?

18.4. Millise katse abil uuritakse voolutugevuse sõltuvust pingest juhi otstel?

põlema ei hakka. Heledalt põleb aga taskulambipatareiga ühendatud taskulambipirn (joonis 18.1).

Hüpotees. Teatavasti võib pinge erinevate vooluallikate klemmidel olla erinev. Pistikupesa klemmidel on pinge tavaliselt 220 V. Sama väärtusega pinge on ka pistikupesa klemmidega ühendatud lambi hõõgniidi otstel. Taskulambipatareiga ühendatud lambi hõõgniidi otstel on pinge aga ainult 4,5 V piires. Kuna laualamp põleb heledalt vaid pistikupesa klemmidega ühendatult, patareiga ühendatuna aga mitte, võib oletada, et voolutugevus juhis sõltub pingest juhi otstel.

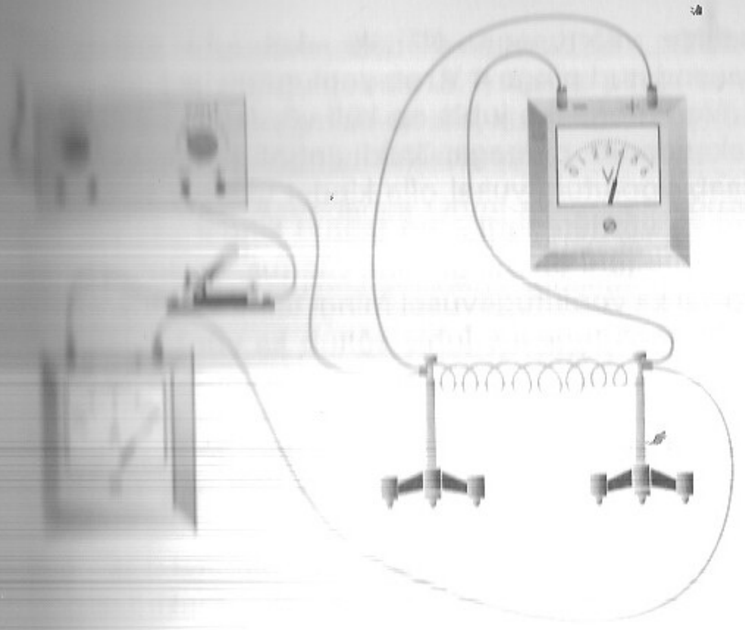
Miks põleb heledasti aga patareiga ühendatud taskulambipirn? Ilmselt tuleb nähtuse põhjust otsida lampidest enestest. Taskulambipirn ja vargustilamp on erinevad juhid ja seega võib oletada, et voolutugevus juhis sõltub ka juhi omadustest.

Katse planeerimine. Kontrollime oma oletuste õigsust katse abil. Tavaliselt uuritakse katses ühe füüsikalise suuruse sõltuvust mingist teisest füüsikalisest suurusest. Kõik ülejäänud füüsikalised suurused, mis võivad samuti nähtust mõjutada, ei tohi katse ajal muutuda. Kui katses muuta korraga näiteks kahe füüsikalise suuruse väärtusi, ei saa me olla kindlad, millise suuruse muutus põhjustas just sellise katsetulemuse.

Uurime, kuidas sõltub voolutugevus juhis sellele otstele rakendatud pingest. Mõõdame voolutugevuse pinge erinevate väärtuste korral juhi otstel. Kuna juht soojeneb voolu toimel, siis temperatuuri muutus võib põhjustada ka selle omaduste muutumise. Kui aga juhi omadused muutuvad, võib selle tulemusena muutuda ka voolutugevus. Et juhi temperatuuri muutus oleks võimalikult väike, viime mõõtmised läbi voolutugevuse väikestel väärtustel ja tekitame elektrivoolu ainult lühiajaliselt.

Katse. Koostame vooluringi, milles on vooluallikas, juht, ampermeeter, voltmeeter ja lüliti (joonis 18.2). Valime vooluallika, mille klemmidel saab pinget muuta. Juhina kasutame spiraaliks keeratud pikka traati. Mõõdame voolutugevuse traatspiraali pinge väärtustel 0 V, 1 V, 2 V, 3 V ja 4 V.

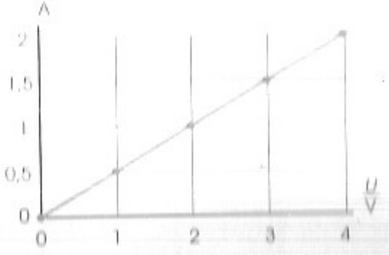
Katsetulemused kanname tabelisse 3. Need võib esitada ka voolutugevuse ja pinge sõltuvust väljendava graafikul. Kuna me uurime voolutugevuse sõltuvust pingest, kanname graafiku horisontaalteljele pinge väärtused, vertikaalteljele aga voolutugevuse väärtused (joonis 18.3).



Joonis 18.2. Katseseade voolutugevuse sõltuvuse uurimiseks pingest juhi otstel.

Tabel 3. Katses mõõdetud pinge ja voolutugevuse väärtused.

Jrk. nr.	U / V	I / A
1.	0	0
2.	1	0,5
3.	2	1
4.	3	1,5
5.	4	2



Joonis 18.3. Voolutugevuse sõltuvus pingest juhi otstel.

Katsetulemuste analüüs. Mõõtmistulemustest näeme, et pinge erinevate väärtuste korral on voolutugevus juhis erinev. Kui pinget juhi otstel suurendada kaks korda, suureneb ka voolutugevus kaks korda jne. Voolutugevuse sõltuvust pingest kujutav joon graafikul on sirge. Matemaatikast on teada, et sellist sõltuvust muutujate vahel nimetatakse **võrdeliseks sõltuvuseks**. Tähistades võrdelise sõltuvuse võrdeteguri tähega k, võime voolutugevuse sõltuvuse pingest avaldada kujul

$$I = kU.$$

Järeldus. Voolutugevus juhis on võrdeline juhi otstele rakendatud pingega. Voolutugevuse sõltuvuse pingest avastas 1826. aastal saksa füüsik Georg Simon Ohm (1787–1854) ja seetõttu nimetatakse seda seost **Ohmi seaduseks**.

Katse ajal juhi omadused ei muutunud, sest kogu mõõtmistes kasutasime ühte ja sama juhti. Seega võib võrdetegurit k vaadelda kui suurust, mis iseloomustab juhi omadusi.

Vastuste ja katsetulemuste seletus. Vaadeldes tabelis 3 esitatud katsetulemusi tekib küsimus, miks millal pinge korral on voolutugevus juhis just

18.5. Kuidas sõltub voolutugevus juhis pingest juhi otstel?

18.6. Mida iseloomustab Ohmi seaduses võrdetegur k?

Georg Simon Ohm – saksa füüsik. Avastas elektrivoolu põhiseaduse, mis määrab seose voolutugevuse, juhi otstele rakendatud pinge ja juhi takistuse vahel. Tegi kindlaks, millest sõltub juhi takistus.

18.7. Mida nimetatakse juhi elektritakistuseks?

sellise väärtusega. Näiteks, kui juhi otstele rakendatud pinge 4 V, on voolutugevus juhis 2 A.

Voolutugevus juhis on küll võrdeline juhi otstele rakendatud pingega, kuid antud pinge väärtusel saab voolutugevusel olla kindel väärtus ainult siis, kui ka võrdeguril k on teatud kindel väärtus. Kui võrdeguril on mingi teine väärtus, on antud pinge korral ka voolutugevusel mingi teine väärtus. Järelikult, voolutugevus juhis sõltub ka võrdegurist k. Mida suurem on võrdegur, seda suurem on antud pinge korral voolutugevus ehk seda suurem on elektrilaeng, mis ajaühikus läbib juhi ristlõiget. Võrdegur k iseloomustab seega juhi omadust juhtida elektrivoolu.

Võrdeguri pöördväärtust nimetatakse juhi **elektritakistuseks** ehk **takistuseks**. Elektritakistust tähistatakse tähega R.

$$R = \frac{1}{k}.$$

Tavaliselt mõjub igale liikuvale kehale liikumist takistav jõud. Selle jõu mõjul keha kiirus väheneb. Erinevatel juhtudel võib liikumist takistav jõud olla erineva suurusega. Näiteks põlvini vees joostes kulub mingi vahemaa läbimiseks rohkem aega kui rannal joostes. Vees joostes on meie kiirus väiksem sellepärast, et vesi takistab liikumist rohkem kui õhk.

Ka juht takistab vabade laengukandjate suunatud liikumist, mille tulemusena nende kiirus väheneb. Mida suurem on juhi takistav mõju, seda rohkem väheneb vabade laengukandjate suunatud liikumise kiirus ja seda väiksem on elektrilaeng, mis läbib ajaühikus juhi ristlõiget. Antud pinge korral on seega suure takistusega juhis voolutugevus väiksem kui juhis, mille takistav mõju vabade laengukandjate liikumisele on väike. Järelikult juhti iseloomustavad suurused R ja k on pöördvõrdelises sõltuvuses.

Juhi elektritakistus on füüsikaline suurus, mis iseloomustab juhi mõju suunatult liikuvatele vabadele laengukandjatele ehk **elektrivoolule**.

18.8. Kuidas sõltub voolutugevus juhi otstele rakendatud pingest ja juhi takistusest?

Lähtudes sellest, et erinevate juhtide elektritakistus võib olla erinev, saab seletada ka eelneva vaatluse tulemusi. Kuigi taskulambipatareiga ühendatud lampide hõõgniitide otstel on pinge sama väärtusega, on voolutugevus taskulambipirnis

kui valgusti lambis. Taskulambipirn põleb ju heledalt, valgustilambi aga ei hõõgu (joonis 18.1). Sama pinge korral saab voolutugevus olla taskulambis väiksem ainult siis, kui selle lambi hõõgniidi takistus on suurem taskulambipirni hõõgniidi takistusest.

Järeldus. Asendades Ohmi seaduses võrdeguri k elektritakistuse pöördväärtusega, saame voolutugevuse sõltuvuse juhi otstele rakendatud pingest ja juhi takistusest avaldada seosega

$$I = \frac{1}{R}U \quad \text{ehk} \quad I = \frac{U}{R}.$$

Sõnaliselt võib Ohmi seaduse sõnastada järgmiselt: **voolutugevus juhis on võrdeline juhi otstele rakendatud pingega ja pöördvõrdeline juhi takistusega**, s. o.

$$\text{voolutugevus} = \frac{\text{pinge}}{\text{takistus}}.$$

Ohmi seadus on üks elektrivoolu põhiseadusi. Voolutugevus juhis sõltub sellest, kui suur pinge on rakendatud juhi otstele ja kui suur on juhi takistus. Erinevates juhtides võib voolutugevus olla erinev. Ühes ja samas juhis on voolutugevus erinev siis, kui juhi otstele rakendatud pinge on erinev. Ohmi seaduse abil saab arvutada voolutugevuse nii metallides kui ka elektrolüütide vesilahustes. Seadus kehtib aga ainult sel juhul, kui juhi temperatuur on muutumatu. On kindlaks tehtud, et temperatuuri muutudes juhi takistus muutub. Kui juht voolu toimel soojeneb ning selle takistus muutub, muutub ka voolutugevus juhis.

1. Kas pinge juhi otstel sõltub voolutugevusest juhis? Põhjenda.
2. Miks põhjusel ei hakka põlema taskulambipatareiga ühendatud laualamp?
3. Kuidas muutub voolutugevus juhis, kui pinget juhi otstel vähendatakse neli korda?
4. Kuidas on võimalik suurendada voolutugevust juhis kolm korda?

ÜLESANDED

1. Pinge juhi otstel on 10 V, voolutugevus juhis on 2 A. Kui suur on voolutugevus juhis, kui pinge juhi otstel on 15 V?
2. Kui pinge juhi otstel on 6 V, on voolutugevus juhis 1,5 A. Kui suur peab olema pinge juhi otstel, et voolutugevus juhis oleks 0,5 A?
3. Kasutades tabeli andmeid, kujuta graafiliselt voolutugevuse sõltuvust pingest.

U, V	0	2	4	6	8	10
I, A	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2

19. ELEKTRITAKISTUS. ELEKTRITAKISTUSE ÜHIK

➲ **Mis on elektritakistuse ühikuks?**

➲ **Kuidas takistust mõõdetakse?**

19.1. Millest on põhjustatud metalli elektritakistus?

Teatavasti kujutab elektrivool metallides endast vabade elektronide suunatud liikumist kristallivõre ioonidevahelises ruumis. Kristallivõre ioonid on pidevas liikumises, nad võnguvad oma tasakaalu asendi ümber. Võnkuvad ioonid segavad vabade elektronide suunatud liikumist. Seetõttu põrkub mingi hulk vabu elektrone igal ajahetkel kristallivõre ioonidega. Põrkel läheb osa vaba elektroni energiast üle ioonile ja elektroni liikumine aeglustub. Seega, **metallide elektritakistus on põhjustatud suunatult liikuvate vabade elektronide ja kristallivõre võnkuvate ioonide vastastikmõjust.**

Juhi elektritakistuse saab avaldada Ohmi seadusest kujul

$$R = \frac{U}{I}.$$

Antud juhi korral on voolutugevuse ja pinge jagatis jääv. Esitatud seos ei kirjelda füüsikaliste suuruste vahelist sõltuvust, sest juhi elektritakistus ei sõltu pingest juhi otstel ega voolutugevusest juhis.

19.2. Kuidas on defineeritud takistuse ühik?

Takistuse ühik on võrdne pinge ühiku ja voolutugevuse ühiku jagatisega.

$$1 \text{ takistuse ühik} = \frac{1 \text{ pinge ühik}}{1 \text{ voolutugevuse ühik}},$$

Elektritakistuse ühikuks on **1 oom**, ühiku tähiseks on 1 Ω. Elektritakistuse ühiku tähisena kasutatakse kreeka tähestiku suurt tähte oomega – Ω. Ühiku nimetus on tuletatud saksa füüsiku G. S. Ohmi nimest. **Juhi elektritakistus on 1 oom, kui juhi otstele rakendatud pinge 1 volt korral on voolutugevus juhis 1 amper.**

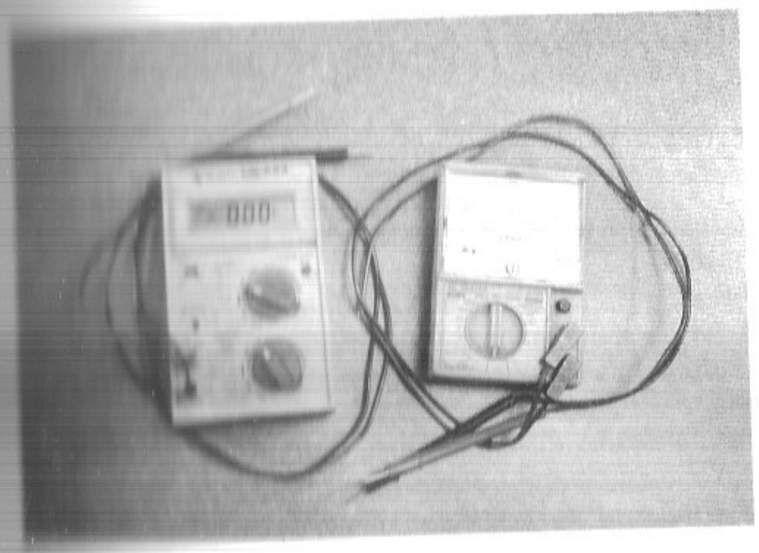
$$1 \text{ oom} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amper}} \quad \text{ehk} \quad 1\,\Omega = \frac{1\text{ V}}{1\text{ A}} = 1\frac{\text{V}}{\text{A}},$$

19.3. Kuidas määratakse tavaliselt juhi takistus?

Juhi takistus määratakse tavaliselt kaudsel meetodil. Voltmeetriga mõõdetakse pinge juhi otstel ja ampermeetriga voolutugevus juhis. Takistus arvutatakse mõõtmistulemustest, jagades pinge väärtuse voolutugevuse väärtusega.

19.4. Kuidas töötab oommeeter?

Takistust saab otseselt mõõta **oommeetriga**. Oommeeter kujutab endast ampermeetrit, mis on varustatud vooluallikaga. Kui ühendada juht oommeetriga, tekib juhis elektrivool, mille tugevus sõltub juhi takistusest. Oommeetriga mõõdetaksegi tegelikult voolutugevust, mis tekib juhis selle otstele rakendatud teatud pinge korral. Kuna pinge on teada, kantakse mõõteriista skaalale voolutugevuse ühikute asemel takistuse ühikud. Oommeetriga saab aga mõõta ainult sellise juhi takistust, mis on vooluringist eraldatud. Kui juht asub vooluringis, tuleb mõõtmiste ajaks elektrivool katkestada ja juht vooluringist eemaldada.



Testrid

19.5. Milleks ja kuidas kasutatakse testrit?

Tester on kombineeritud mõõteriist, mis sisaldab voltmeetrit, ampermeetrit ja oommeetrit. Liiseks neile võib erinevat liiki testrites olla ka teisi elektrimõõteriistu. Testriga saab mõõta nii alalis- kui vahelduvpinget ja ka alalis- ning vahelduvvoolutugevust. Mõõtmisteks vajalik mõõteriist ja sobiv mõõtepiirkond valitakse vastavate lülitite abil. Kui testriga soovitakse mõõta voolutugevust, ühendatakse tester vooluringi juhiga jadamisi. Pinge mõõtmiseks ühendatakse tester juhiga rööbiti. Takistuse mõõtmiseks ühendatakse testri juhtmed vooluringist eraldatud juhi otstega.

NÄIDISÜLESANNE

Kui suur on pinge diaprojektori lambi hõõgniidi otsel, kui voolutugevus lambis on 6,3 A ja lambi takistus on 3,8 Ω ?

ANTUD:

$I = 6{,}3$ A

$R = 3{,}8\ \Omega$

$U - ?$

LAHENDUS.

Avaldame Ohmi seadusest $I = \frac{U}{R}$ pinge.

$U = IR$

$U = 6{,}3\ \text{A} \cdot 3{,}8\ \Omega = 24\ \text{V}$

VASTUS. Pinge lambi hõõgniidi otstel on 24 V.

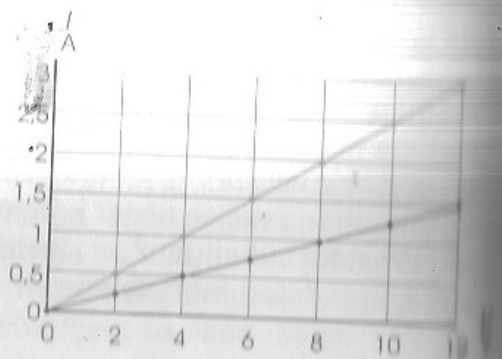
1. Kas juhi elektritakistus sõltub voolutugevusest juhis?
2. Pinget juhi otstel suurendati kolm korda. Põhjenda, kas selle tulemusena suurenes ka juhi takistus?

ÜLESANDED

1. Pinge autokäiviti mähise otstel on 12 V. Voolutugevus käiviti mähises on 150 A. Kui suur on mähise elektritakistus?
2. Voolutugevus valgusti lambis on 0,27 A. Valgusti on ühendatud elektrivõrku, mille pinge on 220 V. Kui suur on töötava lambi hõõgniidi takistus?
3. Voolutugevus elektripliidi küttekehas on 6,8 A. Pinge küttekeha klemmidel on 220 V. Kui suur on küttekeha takistus tööolukorras?
4. Kui suur on voolutugevus elektripliidi küttekehas, kui pinge elektripliidi klemmidel on 220 V ja küttekeha takistus tööolukorras on 48 Ω?
5. Kui suur on voltmeetri mõõtepiirkond, kui voltmeetri elektritakistus on 10000 Ω ja voolutugevus mähises ei tohi olla suurem kui 0,01 A?
6. Katses uuriti voolutugevuse sõltuvust juhi takistusest jääval pingel. Katseandmed on esitud tabelis. Kujuta graafiliselt voolutugevuse sõltuvus juhi takistusest. Kui suur oli pinge juhi otstel?

R, Ω	1	2	4	5	8	10
I, A	10	5	2,5	2	1,25	1

7. Katses uuriti voolutugevuse sõltuvust pingest kahes juhis. Katse tulemused on esitatud graafiliselt (joonis 19.1). Kui suur on kummagi juhi takistus? Kumma juhi takistus on suurem ja mitu korda?

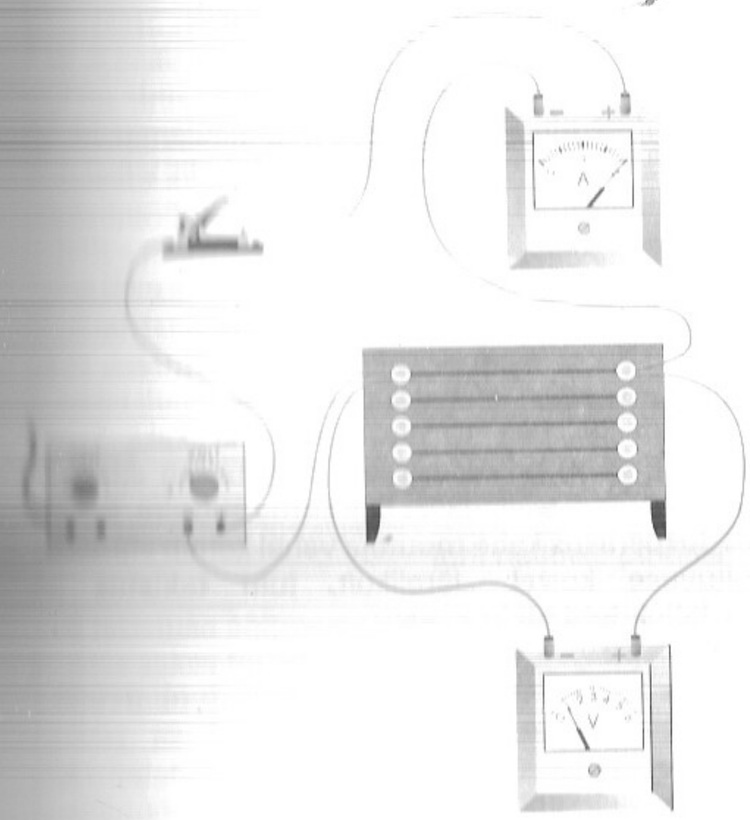


Joonis 19.1.

20 TAKISTUSE SÕLTUVUS JUHI MÕÕTMETEST JA AINEST. ERITAKISTUS

- Millest sõltub juhi takistus?
- Mida iseloomustab eritakistus?
- Mis on eritakistuse ühikuks?

Kuna metallide takistus on põhjustatud vabade elektronide ja kristallivõre positiivsete ioonide vastastikmõjust, siis võib oletada, et metalljuhi takistus sõltub seda iseloomustavatest suurustest – juhi mõõtmest ja ainest.



Joonis 20.1. Katseseade juhi takistuse sõltuvuse uurimiseks juhi omadustest.

Takistuse sõltuvuse juhi omadustest saab kindlaks teha katsete abil. Selleks tuleb mõõta erinevate mõõtmetega ja erinevast ainest juhtide takistused ning neid võrrelda. Kõik mõõtmised saab teha ühe ja sama katseseadmega, mis koosneb voolu-allikast, uuritavast juhist, ampermeetrist, voltmeetrist ja lülitist (joonis 20.1). Voltmeetriga mõõdetakse pinge juhi otstel, ampermeetriga aga voolutugevus juhis. Juhi takistus arvutatakse, jagades pinge väärtuse voolutugevuse väärtusega. Kuna takistus võib sõltuda juhi pikkusest ja ristlõikepindalast ning juhi ainest, tehti kolm katset, milles uuriti

20.1. Milliste katsetega saab uurida juhi takistuse sõltuvust juhi omadustest?

1) takistuse sõltuvust juhi pikkusest, kasutades sama pikkusega, kuid sama läbimõõduga ja samast ainest juhte;
2) takistuse sõltuvust juhi ristlõike pindalast, kasutades erineva läbimõõduga, kuid sama pikkusega samast ainest juhte;
3) takistuse sõltuvust juhi ainest, kasutades samade mõõtmetega erinevatest ainetest juhte.

20.2. Kuidas sõltub juhi takistus juhi pikkusest?

Tabel 4. Erineva pikkusega 1 mm² ristlõike pindalaga konstantaantraatide takistused.

Jrk. nr.	ℓ m	U V	I A	R Ω
1.	1	1	2	0,5
2.	2	1	1	1
3.	4	1	0,5	2

KATSE 1. Juhi takistuse sõltuvus juhi pikkusest. Katses kasutati kolme 1 mm² suuruse ristlõike pindalaga konstantaantraati, mille pikkused olid 1 m, 2 m ja 4 m. Konstantaan on vase ja nikli sulam. Kõikide mõõtmiste korral oli traatide otstele rakendatud pinge 1 V. Mõõtmiste tulemused on esitatud tabelis 4. Traadi pikkus on tabelis tähistatud tähega ℓ. Tabeli viimases veerus on mõõtmistulemustest arvutatud traatide takistused.

Mõõtmistulemustest selgub, et erineva pikkusega sama ristlõike pindalaga ja samast ainest traatide takistused on erinevad. Mida pikem on traat, seda suurem on selle takistus. 2 m pikkuse traadi takistus on 1 m pikkuse traadi takistusest kaks korda suurem, 4 m pikkuse traadi takistus on aga 1 m pikkuse traadi takistusest neli korda suurem. Selline seaduspärasus kahe muutuja vahel kehtib võrdelise sõltuvuse korral. Järelikult, **juhi takistus on võrdeline juhi pikkusega**.

20.3. Kuidas sõltub juhi takistus juhi ristlõike pindalast?

Tabel 5. Erineva ristlõike pindalaga 1 m pikkuste konstantaantraatide takistused.

Jrk. nr.	S mm²	U V	I A	R Ω
1.	0,5	1	1	1
2.	1	1	2	0,5
3.	2	1	4	0,25

KATSE 2. Juhi takistuse sõltuvus juhi ristlõike pindalast. Katses kasutati kolme 1 m pikkust konstantaantraati, mille ristlõike pindalad olid 0,5 mm², 1 mm² ja 2 mm². Kõikide mõõtmiste korral oli traatide otstele rakendatud pinge 1 V. Mõõtmiste tulemused on esitatud tabelis 5. Traadi ristlõike pindala on tabelis tähistatud tähega S. Tabeli viimases veerus on mõõtmistulemustest arvutatud traatide takistused.

Mõõtmistulemustest selgub, et erineva ristlõike pindalaga, kuid sama pikkusega ja samast ainest traatide takistused on erinevad. Mida suurem on traadi ristlõike pindala, seda väiksem on traadi takistus. Kui traadi ristlõike pindala on 2 korda suurem, siis traadi takistus on 2 korda väiksem. Kui aga traadi ristlõike pindala on 4 korda suurem, on ka traadi takistus 4 korda väiksem. Selline seadus

kahe muutuja vahel kehtib pöördvõrdelise korral. Järelikult, **juhi takistus on pöördvõrdeline juhi ristlõike pindalaga.**

KATSE 3. Juhi takistuse sõltuvus juhi ainest. Katsetel kasutati 1 m pikkusega ja 1 mm² ristlõike pindalaga nikeliinist (vase, nikli ja mangaani sulam), konstantaanist ja nikroomist (nikli, kroomi ja raua sulam) traate. Kõikide mõõtmiste korral oli traatide otstele rakendatud pinge 1 V. Mõõtmiste tulemused on esitatud tabelis 6. Traatide takistused on arvutatud mõõtmistulemustest.

Mõõtmistulemustest selgub, et samade mõõtmistega erinevast ainest traatide takistused on erinevad. Järelikult, **juhi takistus sõltub juhi ainest.**

Katsete tulemustest järeldub, et **juhi takistus on võrdeline juhi pikkusega, pöördvõrdeline selle ristlõike pindalaga ning sõltub juhi ainest.**

Takistuse sõltuvust ainest väljendatakse mõiste **eritakistus**. Tähistades juhi pikkuse tähega ℓ, selle ristlõike pindala tähega S ja eritakistuse tähega ρ (roo), võib juhi takistuse avaldada valemiga $R = \rho \frac{\ell}{S}$.

$$\text{Juhi takistus} = \text{eritakistus} \cdot \frac{\text{juhi pikkus}}{\text{juhi ristlõike pindala}}.$$

Juhi takistuse sõltuvuse selle mõõtmetest ja ainest avastas saksa füüsik G. S. Ohm.

Kui takistus iseloomustab juhi mõju elektrivoolule, siis **eritakistus iseloomustab aine mõju elektrivoolule**. Eritakistus on füüsikaline suurus. Aine eritakistuse saab avaldada takistuse valemist:

$$\rho = \frac{RS}{\ell}.$$

Aine eritakistus on arvuliselt võrdne sellest ainest valmistatud ühikulise pikkuse ja ühikulise ristlõikepindalaga keha takistusega. Eritakistuse ühik saadakse, kui füüsikaliste suuruste tähised asendatakse valemis nende ühikutega:

$$1 \text{ eritakistuse ühik} = \frac{1 \text{ takistuse ühik} \cdot 1 \text{ pindala ühik}}{1 \text{ pikkuse ühik}},$$

$$\rho\ (\text{ühik}) = \frac{1\Omega \cdot 1\ \text{m}^2}{1\ \text{m}} = 1\Omega \cdot \text{m}.$$

20.4. Kas sõltub juhi takistus juhi ainest?

Tabel 6. Erinevast ainest 1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pindalaga traatide takistused.

Jrk. nr.	Aine	U V	I A	R Ω
1.	nikeliin	1	2,5	0,4
2.	konstantaan	1	2	0,5
3.	nikroom	1	0,9	1,1

20.5. Kuidas sõltub juhi takistus juhi omadustest?

20.6. Mida iseloomustab eritakistus?

20.7. Millega võrdub aine eritakistus?

Eritakistuse ühikuks on 1 Ω · m. Vooluringides kasutatavate juhtmete mähisetraatide ristlõike pindala on tavaliselt ainult mõni ruutmillimeeter. Sellise traadi takistust on mugavam arvutada, kui aine eritakistus on väljendatud ühikuga $\rho(\text{ühik}) = 1\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Näiteks tabelis 6 esitatud mõõtmistulemuste kohaselt on nikeliini eritakistus $0{,}4\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$, nikroomi eritakistus aga $1{,}1\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Igal ainel on ainult temale iseloomulik eritakistuse väärtus. Eritakistus on väike hõbedal ja vasel. Need kaks ainet on parimad elektrijuhid. Elektrolüütide vesilahuste eritakistused on metallide eritakistustest 10 kuni 10 miljonit korda suuremad. Isolaatorite eritakistused ületavad metallide eritakistusi aga kuni 10^{23} korda. Ainete eritakistuste väärtused on esitatud tabelis õpiku lõpus.

Oluliselt erinevad üksteisest ka metallide ja nende sulamite eritakistused. Vase eritakistus on näiteks 65 korda väiksem nikroomi eritakistusest. See tähendab, et vasktraadi takistus on samade mõõtmetega nikroomtraadi takistusest 65 korda väiksem. Järgnevas diagrammis on toodud erinevatest ainetest 1 mm² ristlõike pindalaga traatide pikkused meetrites, mille takistus on 1 Ω.

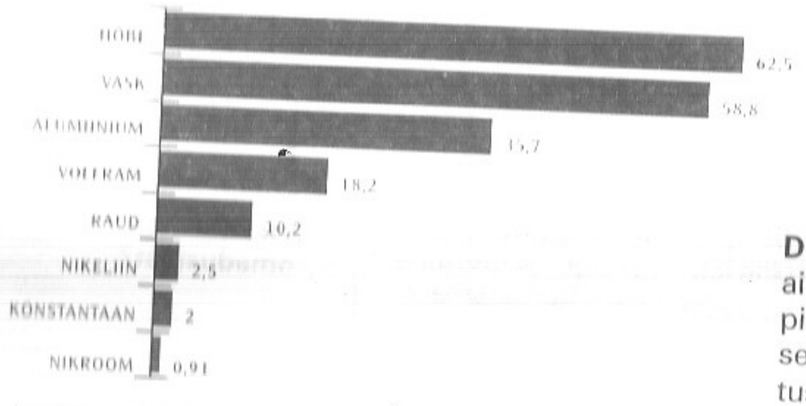


Diagramm 1. Erinevatest ainetest 1 mm² ristlõike pindalaga juhtide pikkused meetrites, mille takistus on 1 Ω.

Elektritakistus on füüsikaline suurus, mis iseloomustab juhi mõju elektrivoolule. Takistus on võrdeline juhi pikkusega, pöördvõrdeline juhi ristlõike pindalaga ja sõltub juhi ainest.

$$R = \rho\,\frac{\ell}{S}.$$

Takistuse ühikuks on 1 oom (1 Ω). Juhi elektritakistus on 1 oom, kui juhi otstele rakendatud pinge 1 volt korral on voolutugevus juhis 1 amper.

$$1\,\Omega = \frac{1\,\text{V}}{1\,\text{A}}.$$

Juhi takistus määratakse kaudsel meetodil, mõõtes voltmeetriga pinge juhi otstel ja ampermeetriga voolutugevuse juhis. Takistuse arvutamisel jagatakse pinge väärtus voolutugevuse väärtusega. Juhi takistust saab otseselt mõõta oommeetriga.

Eritakistus on füüsikaline suurus, mis iseloomustab aine mõju elektrivoolule.

Aine eritakistus on arvuliselt võrdne sellest ainest valmistatud ühikulise pikkuse ja ühikulise ristlõikepindalaga keha takistusega.

Eritakistuse ühikuteks on $1\,\Omega \cdot \text{m}$ ja $1\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

NÄIDISÜLESANNE

Kui suur on voolutugevus 100 m pikkuses ja 0,5 mm² ristlõike pindalaga vasktraadis, mille otstele on rakendatud pinge 6,8 V?

LAHENDUS.

Arvutame voolutugevuse Ohmi seaduse abil. $I = \frac{U}{R}$.

Enne seda peame aga takistuse valemit kasutades arvutama traadi takistuse. $R = \rho\,\frac{\ell}{S}$.

Vase eritakistuse leiame ainete eritakistuste tabelist.

$$R = \frac{0{,}017\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 100\,\text{m}}{0{,}5\,\text{mm}^2} = 3{,}4\,\Omega$$

Teades traadi takistust saame arvutada voolutugevuse.

$$I = \frac{6{,}8\,\text{V}}{3{,}4\,\Omega} = 2\,\text{A}$$

VASTUS. Voolutugevus vasktraadis on 2 A.

1. Miks kasutatakse vooluringides tavaliselt juhtmeid, mis on valmistatud vasest või alumiiniumist?
2. Leia eritakistuste tabelist aine, mille eritakistus on kõige väiksem, kõige suurem?
3. Kaks juhet on sama läbimõõduga ja valmistatud samast ainest. Mõõtmisel selgus, et ühe juhtme takistus on teise takistusest viis korda suurem. Miks?
4. Kaks juhet on sama pikkusega ja valmistatud samast ainest. Ühe juhtme ristlõike pindala on teise juhtme ristlõike pindalast kolm korda suurem. Kumma juhtme takistus on suurem ja mitu korda?
5. On kaks samast ainest juhet. Üks juhe on teisest kaks korda pikem ja selle läbimõõt on kaks korda suurem teise juhtme läbimõõdust. Kas nende juhtmete takistused on erinevad? Kui on, siis mitu korda?
6. On kaks samast ainest juhet. Üks juhe on teisest kaks korda pikem ning selle läbimõõt on teise juhtme läbimõõdust kaks korda väiksem. Kas nende juhtmete takistused on erinevad? Kui on, siis mitu korda?
7. Juhe lõigati pooleks ja pooled põimiti omavahel kokku. Kas juhtme takistus selle tõttu muutus? Kui muutus, siis kui palju?

8. Kaks juhti on valmistatud samast ainest. Nad on sama pikkuse ja ristlõike pindalaga. Juhid ühendatakse erinevate vooluallikatega. Mõõtmisel selgub, et ühes juhis on voolutugevus kolm korda suurem kui teises. Miks?

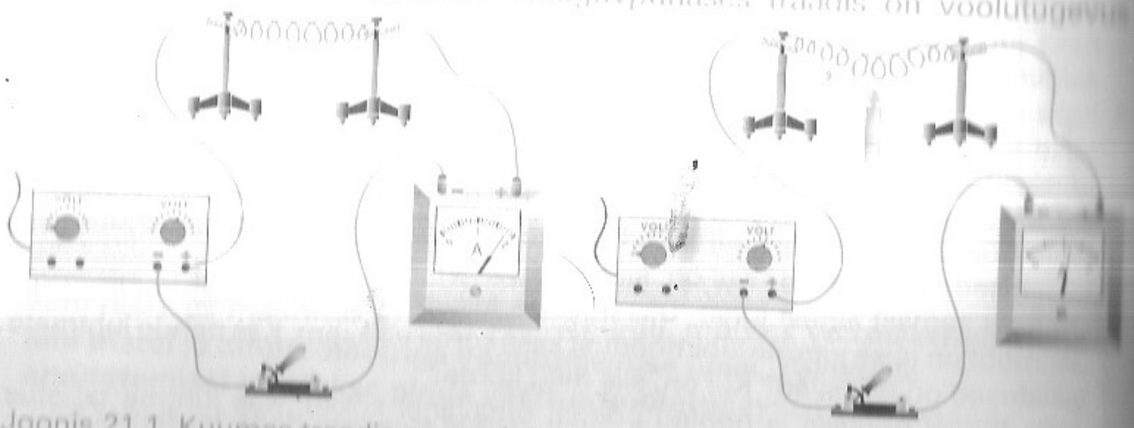
ÜLESANDED

1. Arvuta 1 km pikkuse ja 10 mm² ristlõikepindalaga vasktraadi takistus.
2. Konstantaantraadi ristlõike pindala on 0,8 mm². Kui pikk traat tuleb võtta, et valmistada sellest elektriline küttekeha takistusega 40 Ω?
3. Kahe sama pikkusega alumiiniumjuhtme takistused on vastavalt 2,7 ja 1,8 Ω. Kui suur on teise alumiiniumjuhtme ristlõike pindala, kui esimese juhtme ristlõike pindala on 4 mm² ?
4. 10 m pikkuse nikeliintraadi otstel on pinge 12 V. Kui suur on traadi ristlõike pindala, kui voolutugevus selles on 0,6 A?
5. 1 m pikkuse traadi takistus on 6 Ω. Mitu meetrit sellist traati tuleks võtta, et traati ühendamisel vooluallikaga, mille pinge on 120 V, oleks voolutugevus 1,25 A?
6. Kui pikk peaks olema raudtraat, mille ristlõike pindala on 2 mm² , et selle takistus oleks võrdne 1 km pikkuse ja 4 mm² ristlõike pindalaga alumiiniumtraadi takistusega?
7. Traadikeras oleva traadi takistus on 40 Ω. See traat lõigati neljaks võrdseks tükiks ja põimiti kokku. Kui suur on kokkupõimitud traadi takistus?
8. Elektrisoojendusriista küttespiraal on valmistatud 18 m pikkusest traadist, mille ristlõike pindala on 0,13 mm². Pinge traatspiraali otstel on 220 V ja voolutugevus selles 4 A. Mis ainest on traatspiraal valmistatud?

21. JUHI TAKISTUSE SÕLTUVUS TEMPERATUURIST

- Kuidas sõltub metalli takistus temperatuurist?
- Mida nimetatakse ülijuhtivuseks?

Juhi takistuse sõltuvust temperatuurist võib vaadelda järgmise katse abil. Vooluallikaga on ühendatud raudtraadist spiraal, milles mõõdetakse voolutugevust (joonis 21.1). Kui kuumutada traati küünla- või gaasileegiga, hakkab voolutugevus selles vähenema. Hooguvpunases traadis on voolutugevus



Joonis 21.1. Kuumas traadis on voolutugevus väiksem kui külmas traadis.

21.1. Kuidas sõltub metalli takistus temperatuurist?

21.2. Miks temperatuuri tõustes metalli takistus suureneb?

21.3. Kuidas töötab takistustermomeeter?

ÜLIJUHTIVUS

21.4. Milliseid aineid nimetatakse ülijuhtideks?

Kuna metalli kuumutamisel selle takistus suu[illegible] siis metalli jahutamisel peaks selle takistus [illegible] nema. Nii see ongi. Väga madalatel temper[illegible] ridel ilmneb aga hoopis uus ja huvitav nähtus [illegible] aineid, mille eritakistus absoluutse nulli lähed[illegible] temperatuuridel muutub peaaegu nulliks. Selli[illegible] aineid nimetatakse **ülijuhtideks**, nähtust [illegible] aga **ülijuhtivuseks**.

Ülijuhtivuse avastas 1911. aastal hollandi [illegible] Heike Kammerling Onnes. Ta märkas, et [illegible] beda jahutamisel vähenes selle eritakistus temp[illegible] ratuuril 269 °C (4,1 K) järsult nullini. Hiljem [illegible] tati veel palju teisi metalle ja nende ühendeid, [illegible] ilmneb sama nähtus.

21.5. Milliseid eeliseid annaks ülijuhtide kasutamine?

Kuna ülijuhil puudub madalatel temperatuur[illegible] takistus, siis ülijuht voolu toimel ei soojene. Kui [illegible] juht voolu toimel ei soojene, siis ei muundu elek[illegible] energia juhi siseenergiaks ega teki energiakadu[illegible] See ongi pohjuseks, miks ülijuhtide uurimine [illegible] tänapäeval nii aktuaalne. Näiteks elektriliinides, [illegible] ühendavad elektritarviteid vooluallikaga, on juh[illegible] mete soojenemisest tingitud energiakaod märk[illegible] misväärsed. Ülijuhtivast materjalist elektriliinid [illegible] maldaksid elektrienergiat üle kanda kadudeta. Paraku on sellised elektriliinid veel väga kallid [illegible] neid kasutatakse vähe. Ülijuhtivast ainest mähisega elektromagnetitega saab tekitada ülitugevaid mag[illegible] netvälju. Selliseid elektromagneteid kasutatakse juba praegu näiteks elementaarosakeste kiirendites ja mõnedes meditsiiniaparaatides.

1986. aastal avastati oksiidide segud, millel ülijuhtivus ilmneb juba 35 K (−238 °C) juures. Pärast seda on avastatud materjale, millel ülijuhtivus ilmneb veelgi kõrgematel temperatuuridel. Selli[illegible] seid aineid nimetatakse **kõrgtemperatuurilisteks ülijuhtideks**. Kui suudetakse luua materjale, mis oleksid ülijuhid mõle elukeskkonna temperatuurile lähedastel temperatuuridel, saaks nende kasutamisel oluliselt vähendada tarbitava elektrienergia hulka.

1. Miks tuli voolutugevuse ja pinge vahelise sõltuvuse uurimisel jälgida, et juhi temperatuur katse ajal oluliselt ei muutuks?

22. TAKISTI. REOSTAAT. VOOLUTUGEVUSE REGULEERIMINE

- **Mida nimetatakse takistiks ja milleks takistit kasutatakse?**
- **Kuidas on ehitatud reostaat?**
- **Kuidas reguleeritakse reostaadiga vooluringis voolutugevust?**

22.1. Kuidas saab vooluringis reguleerida voolutugevust?

[illegible] sageli tuleb vooluringides reguleerida voolu[illegible]. Muutes näiteks raadio, televiisori või [illegible] heli valjust, reguleerime me tegelikult [illegible] kõlarites. Ka mikseri, köögikombaini [illegible] mootori pöörlemiskiiruse suu[illegible] või vähendamisel on tegemist voolu[illegible] muutmisega.

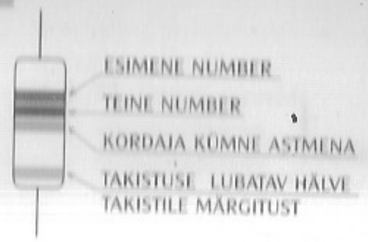
[illegible] saab vooluringis reguleerida [illegible] võib muuta pinget vooluallika klem[illegible] või siis vooluringi takistust. Paljudel juhtudel [illegible] pinge väärtust muuta, sest kasutatava voolu[illegible] klemmidel on kindel pinge. Sellisel juhul [illegible] voolutugevust vooluringi takistuse [illegible] teel. Vooluringi takistuse muutmiseks [illegible] **takisteid** ja **reostaate**.

22.2. Millist juhti nimetatakse takistiks?

Takisti. Igal juhil on mingi takistus. Ka juhtmetel [illegible] takistus. Juhtme takistus on tavaliselt väga [illegible]. Näiteks laboritöös kasutatava 50 sentimeetri [illegible] 2 mm² ristlõike pindalaga vaskjuhtme takis[illegible] on vaid 0,004 Ω. **Takistiks loetakse kindla [illegible] juhti, mille takistus on tunduvalt [illegible] vooluringis kasutatavate juhtmete takis[illegible].** Takisteid valmistatakse erineva takistusega. [illegible] võimaldab voolutugevuse reguleerimiseks [illegible] just sobiva takistusega takisti. Näiteks Ohmi [illegible] uurimisel (õppetükk 18) kasutati traat[illegible] (traatspiraali), mille takistus oli 2 Ω.

[illegible] valmistatud takisti on tavaliselt [illegible] mõõtmetega silindrikujuline keha, mille [illegible] on juhtmed takisti ühendamiseks vooluringi. [illegible] takistite takistus võib küündida miljardite [illegible]. Takisteid kasutatakse elektroonikasead[illegible]: arvutites, raadiotes, televiisorites, magne[illegible] jm. ning tavaliselt ka seadmetes, milles [illegible] elektrimootor. Takisti tingmärk elektriskeemidel [illegible] näidatud joonisel 22.1.

Joonis 22.1.



Joonis 22.2. Takisti värvusrõngaste tähendused.

22.3. Mis tähendus on takisti värvusrõngastel?

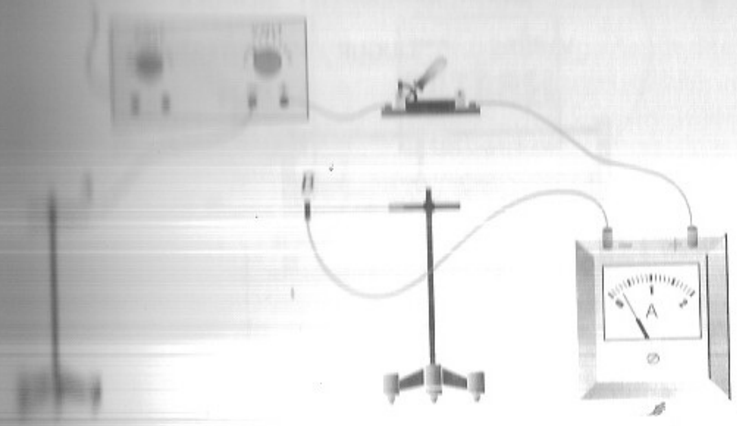
Takistuse väärtus võib olla takistile kantud värvikoodi abil. Värvikood koosneb kolmest või neljast värvilisest ringjoonest. Kolm neist asuvad lähestikku, neljas veidi eemal (joonis 22.2). Kolm lähestikku asuva ringjoone värvus annab kohta takistuse suuruse kohta. Esimese ja teise ringi värvustele vastavad kindlad numbrid, kolmanda ringi värvus kajastab aga kordaja väärtust kümne astmena. Neljas ringjoon annab teavet selle kohta, kui suur võib olla takisti tegeliku väärtuse erinevus takistile märgitust.

Tööstuslikult valmistatud takistite värvikoodid on esitatud tabelis 7.

Tabel 7. Takistite värvikoodid.

Ringjoone värvus	1. ja 2. ringjoon (number)	3. ringjoon (kordaja)	4. ringjoon (takistuse väärtuse lubatav hälve takistile märgitust)
Must	0	10^0	
Pruun	1	10^1	
Punane	2	10^2	
Oranž	3	10^3	
Kollane	4	10^4	
Roheline	5	10^5	
Helesinine	6	10^6	
Violetne	7	10^7	
Hall	8	10^8	
Valge	9	10^9	
Kuldne		10^{-1}	5%
Hõbedane		10^{-2}	10%
Rõngas puudub			20%

Kui näiteks takistile on järjestikku kantud pruun, roheline ja oranž rõngas ning neist veidi eemale hõbedane rõngas (joonis 22.2), siis selle takisti takistus on 15000 Ω ehk 15 kΩ. Neljas rõngas takistil näitab, et takistuse tegelik väärtus võib olla vahemikus 13,5 kΩ – 16,5 kΩ.



Joonis 22.3. Reostaadiks on suure eritakistusega ainest traat, mille vooluringi ühendatud osa pikkust saab muuta.

Reostaat. Kui lisada vooluringi takisti, muutub vooluringi takistus mingi kindla väärtuse võrra ning vastavalt sellele muutub ka voolutugevus. Takistite abil ei saa voolutugevust sujuvalt reguleerida. Vooluringi takistust ja voolutugevust saab sujuvalt muuta reostaadiga.

22.4. Millist juhti nimetatakse reostaadiks ja milleks seda kasutatakse?

Reostaat on juht, mille takistuse väärtus on muudetav. Reostaadiks võib olla näiteks suure eritakistusega ainest pikk traat, mida saab vooluringi ühendada kas täies pikkuses või osaliselt. Traat ühendatakse vooluringi kahe klemmi abil. Ühe nn. liikumatu klemm *A* asub traadi ühes otsas. Teist, liikuvat klemmi *B* saab vastavalt vajadusele mööda traati liigutada (joonis 22.3). Vooluringi ühendatud traadis on elektrivool ainult traadi selles osas, mis jääb klemmide *A* ja *B* vahele. Juhul, kui liikuv klemm *B* asub liikumatu klemmi *A* läheduses, on vooluringi ühendatud väike osa traadist ning ka selle takistus on väike. Kui aga paigutada liikuv klemm traadi teise otsa, on kogu traat ühendatud vooluringi ning selle takistus on maksimaalne. Muutes liikuva klemmi asukohta traadil, saame muuta nii vooluringi ühendatud traadi kui ka kogu vooluringi takistust.

22.5. Millel põhineb reostaadi töö?

Reostaadi traat võib olla küllaltki pikk. Sellist pika traadiga reostaati on ebamugav kasutada. Et reostaat oleks mõõtmetelt väiksem ja mugavamini käsitsetav, mähitakse traat tihedalt keraamilisest materjalist (mittejuht) torule. Traadikeerud on üksteisest isoleeritud õhukese oksiidikihiga. Mähisega toru kohale (joonis 22.4) on kinnitatud metallvarras, mida mööda liigub liugur (liikuv klemm). Neis kohtades, kus liugur puutub vastu

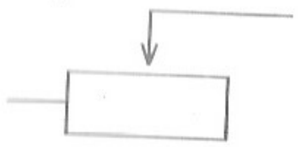
22.6. Milline on reostaadi ehitus?

Joonis 22.4. Reostaat.

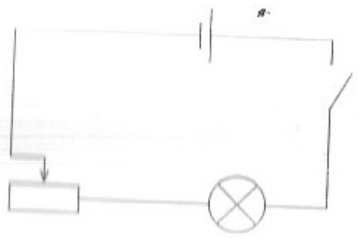
22.7. Milliste füüsikaliste suuruste abil iseloomustatakse reostaati?

traadi keerde, oksiidikiht puudub. Reostaat ühendatakse vooluringi mähise ühe otsaklemmi ja varda otsaklemmi abil. Elektrivool kulgeb reostaadis mähise otsaklemmilt läbi mähise liugurile ja sealt metallvarda kaudu varda otsas olevale klemmile. Liuguri nihutamine suurendab või vähendab vooluringi ühendatud traadi pikkust ning koos sellega ka reostaadi takistust.

Reostaati iseloomustavateks suurusteks on reostaadi suurim takistus ja suurim lubatud voolutugevus. Need kaks suurust on märgitud igale reostaadile. Kui voolutugevus reostaadi mähises ületab lubatud suurima väärtuse, võib reostaadi mähis tugevasti kuumeneda ja sulada. Reostaadi tingmärk on kujutatud joonisel 22.5. Joonisel 22.6 on näidatud, kuidas ühendatakse reostaat voolutugevuse reguleerimiseks vooluringi.



Joonis 22.5.



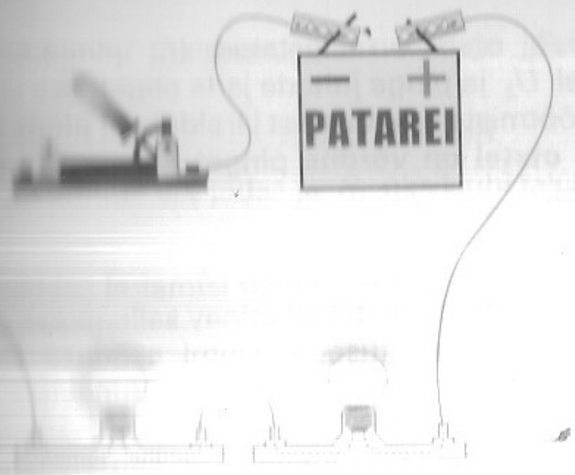
Joonis 22.6. Reostaati kasutatakse voolutugevuse reguleerimiseks lambis.

1. Miks sõltub reostaadi takistus reostaadi traadi pikkusest?
2. Kuidas muutub takistus, kui nihutada joonisel 22.4 esitatud reostaadi liugurit kas vasakule või paremale?

23. JUHTIDE JADAÜHENDUS

- **Milline on voolutugevus jadamisi ühendatud juhtides?**
- **Milline on pinge juhtide jada ja iga juhi otstel?**
- **Millega võrdub jadamisi ühendatud juhtide kogutakistus?**

Ühes ja samas vooluringis võib korraga olla mitu elektritarvitit. Näiteks laevalgustis võib samaaegselt põleda mitu lampi; reguleerimaks voolutugevust mingis elektriseadmes, on koos seadmega vooluringi ühendatud ka reostaat jne.



Joonis 23.1. Kaks ühesugust jadamisi ühendatud lampi põlevad tuhmilt, kuid ühesuguse heledusega.

Juhte võib ühendada mitmeti, kuid kõikide ühenduste korral on mingi osa juhtidest alati [illegible] kas jadamisi või rööbiti. Jadaühendus ja rööbitühendus on juhtide kaks ühendusviisi. Neid [illegible] põgusalt juba õppetükis 15. Nüüd tuleb [illegible] sellest, kuidas sõltub juhtide ühendusviisist [illegible] tugevus, pinge juhtide otstel ning juhtide [illegible] takistus.

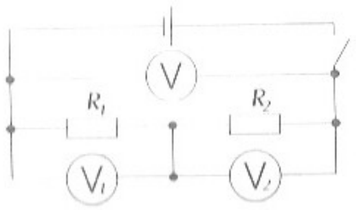
Seda, et **järjestikühenduse** korral on juhid [illegible] omavahel järgemööda nagu kaks taskulambipirni [illegible] patareiga ühendatud taskulambipirni joonisel 23.1. Mõlemad lambid põlevad küll tuhmilt, kuid [illegible] heledusega. Vooluringi avamisel katkeb [illegible] korraga mõlemas lambis.

Enne jadamisi ühendatud juhtides on voolutugevus sama väärtusega, sest üheski juhis ei saa [illegible] osakesed kaduda, tekkida ega kuhjuda. Tähistades voolutugevuse juhtides vastavalt I_1 ja I_2, võib panna kirja seose:

$$I = I_1 = I_2$$

23.1. Milline on voolutugevus jadamisi ühendatud juhtides?

Kuidas on pinge juhtide jada otstel seotud [illegible] iga juhi otstel, saab kindlaks teha katse abil. Katse skeem on kujutatud joonisel 23.2. Kaks [illegible] takistusega juhti, mille takistused on vastavalt R_1 ja R_2, on ühendatud vooluallikaga, [illegible] pinget klemmidel saab muuta. Pinget juhtide jada otstel mõõdetakse voltmeetriga V, pinget [illegible] juhi otstel aga voltmeetritega V_1 ja V_2. Katses mõõtmises rakendati juhtide jada otstele pinge vastavalt 3 V, 6 V ja 12 V. Mõõtmiste tulemused on esitatud tabelis 8. Pinge



Joonis 23.2. Elektriskeem pingete mõõtmiseks juhtide jadaühenduse korral.

Tabel 8. Pinge väärtused juhtide jada ja kummagi juhi otstel.

Jrk. nr.	U_1 V	U_2 V	U V
1.	1	2	3
2.	2	4	6
3.	4	8	12

23.2. Milline on pinge juhtide jada ja üksikjuhi otstel?

23.3. Miks võib pinge iga jadamisi ühendatud juhi otstel olla erinev?

juhi R_1 otstel on tähistatud U_1, pinge [illegible] otstel U_2 ja pinge juhtide jada otstel U.

Mõõtmiste tulemustest järeldub, et **pinge juhtide jada otstel on võrdne pingete summaga juhtide otstel.**

$$U=U_1+U_2.$$

Pinge juhtide otstel on erinev sellepärast, et [illegible] on erineva takistusega. Ohmi seaduse kohaselt võrdub pinge juhi otstel ju voolutugevuse ja [illegible] takistuse korrutisega: $U=IR$. Kuna voolutugevus jadamisi ühendatud juhtides on sama väärtusega, siis on pinge suurem selle juhi otstel, mille takistus on suurem.

Kui jadamisi on ühendatud mitu ühesuurust takistusega juhti, on pinge kõikide juhtide otstel sama väärtusega. Tähistades juhtide arvu vooluringis tähega n ja pinge suvalise juhi otstel U_i, võib eelneva seose kirjutada kujul

$$U=nU_i.$$

Seda seaduspärasust kasutatakse näiteks jõulukuuse elektrikünnaldes, kus jadamisi on ühendatud palju madalapingelisi lampe. Kui jadamisi ühendada näiteks 20 ühesugust lampi, on pinge [illegible] lambi otstel küll ainult 11 V, kuid lampide jada otstel on pinge väärtuseks 220 V. Seda tüüpi elektrikünnalde põhiliseks puuduseks on see, et [illegible] lambi läbipõlemisel vooluring katkeb ja kustuvad [illegible] kõik teised lambid. Läbipõlenud lambi leidmine on aga küllaltki tülikas.

23.4. Millega võrdub jadamisi ühendatud juhtide kogutakistus?

Jadamisi ühendatud juhtide kogutakistuse arvutamiseks tuletame meelde, et juhi takistus sõltub juhi pikkusest. Mida pikem on juht, seda suurem on selle takistus. Ühendades mitu juhti jadamisi, saaksime nagu uue juhi, mis on pikem igast üksikust juhist. Loomulikult on sellise juhi takistus suurem ka iga jadasse ühendatud juhi takistusest. Mõõtmistest selgub, et **jadamisi ühendatud juhtide kogutakistus võrdub juhtide takistuste summaga.**

$$R=R_1+R_2.$$

Tähega R on valemis tähistatud jadamisi ühendatud juhtide kogutakistus. Kui jadamisi on [illegible] mitu ühesuuruse takistusega juhti, saab juhtide kogutakistuse [illegible] valemiga

$$R=nR_i$$

[illegible] on juhtide arv jadas ja R_i üksikjuhi takistus.

1. Kõikides jadamisi ühendatud juhtides on voolutugevus sama väärtusega.

$$I=I_1=I_2.$$

2. Pinge juhtide jada otstel on võrdne juhtide otstele rakendatud pingete summaga.

$$U=U_1+U_2.$$

3. Jadamisi ühendatud juhtide kogutakistus on võrdne juhtide takistuste summaga.

$$R=R_1+R_2.$$

4. Kui jadamisi on ühendatud n ühesuuruse takistusega juhti, on juhtide kogutakistus n korda suurem üksikjuhi takistusest.

$$R=nR_i$$

NÄIDISÜLESANNE

Kaks traatspiraali takistustega 2 Ω ja 6 Ω on ühendatud jadamisi akuga, mille klemmidel on 12 V. Kui suur on voolutugevus traatspiraalides ja pinge kummagi spiraali otstel?

ANTUD: LAHENDUS.

$R_1=2\ \Omega$
$R_2=6\ \Omega$
$U=12$ V

Kõigis jadamisi ühendatud juhtides on voolutugevus sama väärtusega. Teades voolutugevust saab arvutada pinge kummagi traatspiraali otstel.

Arvutame esmalt juhtide kogutakistuse $R=R_1+R_2$;

$R=2\ \Omega+6\ \Omega=8\ \Omega$.

Voolutugevuse arvutamiseks kasutame Ohmi seadust.

$I=?$

$I=\frac{U}{R}$; $I=\frac{12\text{ V}}{8\ \Omega}=1{,}5$ A.

$U_1=?$

Pinge kahe-oomise takistusega traatspiraali otstel on

$U_1=IR_1$; $U_1=1{,}5\text{ A}\cdot 2\ \Omega=3$ V.

$U_2=?$

Pinge kuue-oomise takistusega traatspiraali otstel on

$U_2=IR_2$; $U_2=1{,}5\text{ A}\cdot 6\ \Omega=9$ V.

VASTUS. Voolutugevus traatspiraalides on 1,5 A, pinge kahe-oomise takistusega traatspiraali otstel on 3 V, pinge kuue-oomise takistusega traatspiraali otstel on 9 V.

1. Miks ühendatakse voolutugevuse mõõtmisel ampermeeter juhiga jadamisi?
2. Vooluringi on ühendatud jadamisi kaks ühesugust lampi. Kui suur on pinge lampide hõõgniitide otstel võrreldes pingega vooluallika klemmidel?
3. Kaks taskulambipirni on ühendatud jadamisi taskulambipatareiga (joonis 24.1). Miks põlevad kaks patareiga jadamisi ühendatud lampi tuhmimalt kui üks patareiga ühendatud lamp?
4. Vooluringi on ühendatud jadamisi kaks erineva takistusega juhti. Millises on voolutugevus juhtides ja pinge juhtide otstel?
5. Vooluringi on ühendatud jadamisi kolm erineva takistusega juhti. Millise juhi otstel on pinge kõige suurem, millise juhi otstel kõige väiksem?
6. Vooluringi on ühendatud jadamisi kaks erineva takistusega juhti. Ühe juhi takistus on teise juhi takistusest viis korda suurem. Kas voolutugevus kummaski juhis on sama või erinev? Kumma juhi otstel on pinge suurem ja mitu korda?

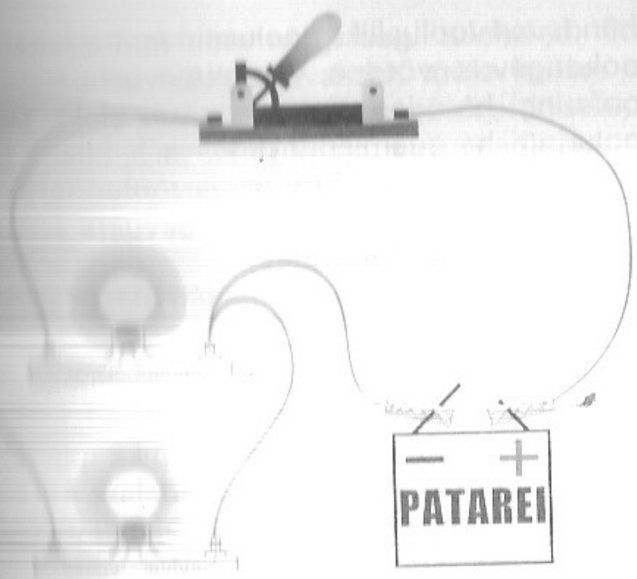
ÜLESANDED

1. Aku klemmidel on pinge 12 V. Akuga on ühendatud jadamisi 6 ühesugust lampi. Kui suur on pinge iga lambi hõõgniidi otstel?
2. Ühel juhul on ühendatud jadamisi viis kolme-oomise takistusega juhti, teisel juhul on ühendatud jadamisi kolm kuue-oomise takistusega juhti. Kummal juhul on juhtide kogutakistus suurem?
3. Vooluringi on ühendatud jadamisi kolm juhti takistustega 4 Ω, 6 Ω ja 10 Ω. Pinge vooluallika klemmidel on 40 V. Kui suur on voolutugevus juhtides ja pinge iga juhi otstel?
4. Kaks juhti on ühendatud jadamisi. Pinge ühe juhi otstel on 10 V ja teise juhi otstel 50 V. Kui suur on esimese juhi takistus, kui teise juhi takistus on 20 Ω?
5. Vooluringi on ühendatud jadamisi kolm juhti takistustega 30 Ω, 60 Ω ja 90 Ω. Pinge kuuekümne-oomise takistusega juhi otstel on 6 V. Kui suur on pinge vooluallika klemmidel?

24. JUHTIDE RÖÖPÜHENDUS

- **Milline on pinge rööbiti ühendatud juhtide otstel?**
- **Milline on voolutugevus vooluringi hargnemata osas ja harudes?**
- **Millega võrdub rööbiti ühendatud juhtide kogutakistus?**

Juhtide teiseks ühendusviisiks on nende **rööp-** ehk **paralleelühendus**. Kaks lampi on ühendatud rööbiti vooluringis joonisel 24.1. Lambid põlevad normaalse heledusega. Kuna mõlemad lambid on ühendatud vooluallika klemmidega, on pinge nende hõõgniitide otstel sama väärtusega kui vooluallika klemmidel. **Pinge rööbiti ühendatud juhtide otstel on sama väärtusega.**



Joonis 24.1. Kaks rööbiti ühendatud lampi põlevad mõlemad normaalse heledusega.

24.1. Milline on pinge iga rööbiti ühendatud juhi otstel?

Tähistades pinge vooluallika klemmidel tähega U ja lampide hõõgniitide otstel vastavalt U_1 ja U_2, võib panna kirja seose:

$$U = U_1 = U_2.$$

Rööbiti ühendatud elektritarvitid töötavad üksteisest sõltumatult. Elektrivoolu katkestamisel ühes harus ei katke vool teistes seadmetes. Kui ükski üks lamp põleb läbi, töötab teine edasi. Et kõigi rööbiti ühendatud juhtide otstel on sama väärtusega, saab vooluringi ühendada erinevaid elektriseadmeid, mis kõik on arvestatud samale pingele. Just sellepärast ühendataksegi olmes ja tööstuses elektritarvitid põhiliselt rööbiti.

Joonisel 24.2 on vooluringi elektriskeem, milles on ühendatud rööbiti kaks lampi. Punktis A hargneb vooluring kaheks haruks, mis ühinevad uuesti punktis B. Vooluringi harudes on voolutugevus vastavalt I_1 ja I_2. Juhtmetes, mis ühendavad vooluallika positiivset poolust punktiga A ja punkti B vooluallika negatiivse poolusega, on voolutugevuse tähisoks I. Elektrivoolu suund on skeemil märgitud noolekestega.

Sellist vooluringi võib kujutleda jõena, mille keskel on saareke. Enne saart voolab vesi ühtses jõesängis. Saare juures jaguneb jõgi kahte harru, mis ühinevad pärast uuesti. On selge, et saarekesest möödub kogu jões voolav vesi. Nii on see ka pärast saarekest läbib jõesängi ristlõiget samuti sama kogus vett. Nii on ka juhtmetes, mis

24.2. Milline on voolutugevus vooluringi hargnemata osas ja vooluringi harudes?

Joonis 24.2. Vooluringi elektriskeem, kus kaks lampi on ühendatud rööbiti.

ühendavad vooluallika pooluseid punktidega A ja B, on voolutugevus võrdne voolutugevuste summaga vooluringi harudes. Kui see nii ei oleks, peaks laengut vooluringi hargnemispunktidesse kuhjuma [illegible] osakesed. Seega, **voolutugevus vooluringi hargnemata osas on võrdne voolutugevuste summaga rööbiti ühendatud juhtides:**

$$I = I_1 + I_2.$$

24.3. Milline on rööbiti ühendatud sama takistusega juhtide kogutakistus võrreldes üksikjuhi takistusega?

Elektrivool kulgeb samaaegselt mõlemas [illegible] ühendatud juhis. Kahte kõrvuti olevat juhti [illegible] kujutleda ühe juhina, mille ristlõike pindala [illegible] suurem kummagi juhi ristlõike pindalast. Kui kõrvuti olevad juhid on ühesugused, on kahe juhi ristlõike pindala kaks korda suurem ühe juhi ristlõike pindalast. Eelnevast on teada (õppetükk 20), et mida suurem on juhi ristlõike pindala, seda väiksem on juhi takistus. Seda arvestades on kahe rööbiti ühendatud ühesuguse juhi kogutakistus kaks korda väiksem ühe juhi takistusest. Tähistades juhi takistuse R_i ja juhtide kogutakistuse R, saame

$$R = \frac{R_i}{2}.$$

Kui rööbiti on ühendatud aga n ühesuuruse takistusega juhti saab nende kogutakistuse arvutada valemiga

$$R = \frac{R_i}{n}.$$

24.4. Millega võrdub rööbiti ühendatud erineva takistusega juhtide kogutakistus?

Valemist on lihtne näha, et rööbiti ühendatud juhtide kogutakistus on väiksem üksikjuhi takistusest. Kui kahe rööbiti ühendatud juhi takistused on erineva väärtusega, siis nende kogutakistus arvutatakse valemiga

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

kus R_1 ja R_2 on tähistatud juhtide takistused. **Rööbiti ühendatud juhtide kogutakistuse pöördväärtus on võrdne juhtide takistuste pöördväärtuste summaga.**

Korteri elektrivõrgus on kõik elektritarvitid ühendatud rööbiti. Kui korraga töötab palju elektritarviteid, võib voolutugevus elektrivõrgu hargnemata osas ületada projekteeritud ehk maksimaalse lubatud väärtuse. Sellega võib kaasneda juhtmete [illegible] soojenemine ning isegi tulekahju. Ettenähtust suurema voolutugevuse korral hakkab tavaliselt tööle kaitse, mis katkestab elektrivoolu. [illegible] võibki kodus elektrivool mõnikord katkeda, kui üheaegselt töötavad [illegible] pesumasin, tolmuimeja, elektriradiaator, triikraud või mõned muud [illegible] võimsusega elektriseadmed.

1. Rööbiti ühendatud juhtide otstel on sama väärtusega.

$$U = U_1 = U_2.$$

2. Voolutugevus vooluringi hargnemata osas on võrdne voolutugevuste summaga rööbiti ühendatud juhtides.

$$I = I_1 + I_2.$$

3. Rööbiti ühendatud n ühesuuruse takistusega juhi kogutakistus on n korda väiksem üksikjuhi takistusest.

$$R = \frac{R_i}{n}.$$

4. Rööbiti ühendatud juhtide kogutakistuse pöördväärtus on võrdne juhtide takistuste pöördväärtuste summaga.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

NÄIDISÜLESANDED

1. Laevalgustis põleb neli elektrilampi. Iga lambi takistus on tööolukorras [illegible] Ω. Pinge elektrivõrgus on 220 V. Kui suur on voolutugevus valgusti [illegible] ühendusjuhtmes?

ANTUD: LAHENDUS.

$R = 800\ \Omega$ — Ohmi seaduse kohaselt on voolutugevus vooluringi hargnemata osas ehk valgusti ühendusjuhtmes võrdne pinge ja lampide kogutakistuse jagatisega:

$U = 220$ V

$n = 4$

$$I = \frac{U}{R}.$$

I = ?

Lampide kogutakistuse arvutame valemist

$$R = \frac{R_i}{n};\quad R = \frac{800\ \Omega}{4} = 200\ \Omega.$$

Voolutugevus valgusti ühendusjuhtmes on seega

$$I = \frac{220\ \text{V}}{200\ \Omega} = 1{,}1\ \text{A}$$

VASTUS. Voolutugevus valgusti ühendusjuhtmes on 1,1 A.

2. Vooluringi on ühendatud rööbiti kaks juhti takistustega 12 Ω ja 6 Ω. Pinge [illegible] klemmidel on 12 V. Kui suur on juhtide kogutakistus, voolutugevus [illegible] juhis ja voolutugevus vooluringi hargnemata osas.

ANTUD: LAHENDUS:

$R_1 = 12\ \Omega$ Arvutame Ohmi seaduse abil voolutugevuse kummaski juhis.
$R_2 = 6\ \Omega$ Kuna pinge rööbiti ühendatud juhtide otstel on võrdne vooluallika
$U = 12$ V klemmipingega, siis

$$I_1 = \frac{12\ \text{V}}{12\ \Omega} = 1\ \text{A}, \qquad I_2 = \frac{12\ \text{V}}{6\ \Omega} = 2\ \text{A}.$$

$R = ?$ Voolutugevus vooluringi hargnemata osas võrdub haruvoolude
$I = ?$ summaga:
$I_1 = ?$ $I = I_1 + I_2$; $I = 1\ \text{A} + 2\ \text{A} = 3\ \text{A}$
$I_2 = ?$ Juhtide kogutakistuse võib arvutada kahel viisil.

1. Kasutame kogutakistuse arvutamise valemit:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{12\ \Omega} + \frac{1}{6\ \Omega} = \frac{1+2}{12\ \Omega} = \frac{3}{12\ \Omega},$$

Juhtide kogutakistuseks saame

$$R = \frac{12\ \Omega}{3} = 4\ \Omega.$$

2. Tuletame Ohmi seadusest $I = \frac{U}{R}$ juhtide kogutakistuse:

$$R = \frac{U}{I}; \quad R = \frac{12\ \text{V}}{3\ \text{A}} = 4\ \Omega.$$

VASTUS. Rööbiti ühendatud juhtide kogutakistus on 4 Ω, voolutugevus juhis takistusega 12 Ω on 1 A, voolutugevus juhis takistusega 6 Ω on 2 A, voolutugevus vooluringi hargnemata osas on 3 A.

1. Kaks taskulambipatareiga rööbiti ühendatud ühesugust taskulambipirni põlevad sama heledalt kui üks patareiga ühendatud taskulambipirn. Miks?
2. Laevalgustis põlevad kolm ühesugust lampi. Kui suur on voolutugevus valgusti ühendusjuhtmes võrreldes voolutugevusega lambis?
3. Vooluringi on rööbiti ühendatud kolm erineva takistusega juhti. Milline on pinge juhtide otstel? Millises juhis on voolutugevus kõige suurem ja kõige väiksem?
4. Kuidas muutub voolutugevus vooluringi hargnemata osas, kui rööbiti ühendatud juhtidele lisada rööbiti veel üks juht?
5. Elektrivõrku pingega 220 V tahetakse lülitada 4 ühesugust lampi, mis on ette nähtud pingele 110 V. Kuidas lambid tuleb ühendada, et need põleksid normaalse heledusega? Joonista elektriskeem.

ÜLESANDED

1. Toa laevalgustis põleb 3 lampi, toas töötavad ka tolmuimeja, teler ja soojaõhupuhur. Voolutugevus igas lambis on 0,27 A, tolmuimeja mootoris 6 A, teleri ühendusjuhtmes 0,4 A ja soojaõhupuhuri ühendusjuhtmes 4,5 A. Kui suur on voolutugevus juhtmes, mis ühendab tuba korteri elektrikilbiga?
2. Kolm juhti, igaüks takistusega 1,5 kΩ, on ühendatud rööbiti. Kui suur on juhtide kogutakistus?
3. Kaks juhti takistustega 5 Ω ja 15 Ω on ühendatud rööbiti. Kui suur on nende kogutakistus?
4. Vooluringi on ühendatud rööbiti kaks juhti takistustega 200 Ω ja 500 Ω. Pinge vooluallika klemmidel on 100 V. Kui suur on juhtide kogutakistus, voolutugevus kummaski juhis ja vooluringi hargnemata osas?
5. Vooluringi on ühendatud rööbiti kaks juhti. Pinge vooluallika klemmidel on 18 V. Voolutugevus ühes juhis on 1 A. Kui suur on teise juhi takistus, kui voolutugevus vooluringi hargnemata osas on 3 A?
6. Kolm juhti takistustega 30 Ω, 60 Ω ja 120 Ω on ühendatud rööbiti. Voolutugevus kuuekümne-oomise takistusega juhis on 0,1 A. Kui suur on voolutugevus vooluringi hargnemata osas?

PROBLEEME

1. Vooluring koosneb vooluallikast, kolmest rööbiti ühendatud lambist, kahest lülitist ja juhtmetest. Joonista elektriskeem, kus ühe lüliti abil saab üheaegselt põlema lülitada kaks lampi, teise lüliti abil aga kolmanda lambi.
2. Mõtle välja katse, kus kontrollid käesolevas õppetükis esitatud seoste õigsust kahe rööbiti ühendatud juhi korral. Joonista katseseadme elektriskeem.

KOKKUVÕTE

Vooluallikas on seade, mis tekitab juhis elektrivälja ja säilitab seda pika aja vältel. Vooluallikas teeb tööd laetud osakeste ümberpaigutamisel vooluringis. Vooluallikas teevad tööd välised, mitteelektrilised jõud. Väliste jõudude töö tulemusena muundub vooluallika sees elektrivälja energiaks mingi teist liiki energia. Vooluallikaid liigitatakse selle järgi, milline energialiik seal elektrivälja energiaks muundub.

Vooluringi moodustavad omavahel juhtmetega ühendatud vooluallikas, elektritarviti(d) ja lüliti(d). Elektrivool võib olla vaid suletud vooluringis. Elektritarvitis muundub osa elektrivälja energiast mingiks teiseks energialiigiks. Lüliti abil saab vooluringi kas sulgeda või avada. Lüliti ühendatakse tarvitiga jadamisi. Vooluringe kujutatakse joonistena, mida nimetatakse elektriskeemideks.

Pinge on füüsikaline suurus, mis iseloomustab elektrivälja võimet teha tööd laetud osakeste ümberpaigutamisel elektriväljas. Elektrivälja pinge juhi kahe punkti vahel on arvuliselt võrdne elektrivälja tööga ühikulise elektrilaengu ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teise. $U = \frac{A}{q}$. Pinget mõõdetakse voltmeetriga. Voltmeeter ühendatakse rööbiti juhiga, mille otstel pinget soovitakse mõõta.

- **Pinge ühik** on 1 volt. Elektrivälja pinge juhi kahe punkti vahel on 1 volt 1 kuloni suuruse elektrilaengu ümberpaigutamisel juhi ühest punktist teeb elektriväli tööd 1 džaul. $1\,V = \frac{1\,J}{1\,C}$. Elektrivõrgu pinge 220 V on inimesele eluohtlik.
- **Ohmi seadus**. Voolutugevus juhis on võrdeline juhi otstele rakendatud pingega ja pöördvõrdeline juhi takistusega. $I = \frac{U}{R}$.
- **Juhi elektritakistus** on füüsikaline suurus, mis iseloomustab juhi mõju elektrivoolule. Metallides on elektritakistus põhjustatud suunatult liikuvate vabade elektronide ja kristallivõre võnkuvate ioonide vastastikmõjust. Juhi elektritakistus on võrdeline juhi pikkusega, pöördvõrdeline juhi ristlõike pindalaga ning sõltub juhi ainest. $R = \rho \frac{\ell}{S}$. Juhi takistust mõõdetakse kaudsel meetodil. Voltmeetriga mõõdetakse pinge juhi otstel ja ampermeetriga voolutugevus juhis. Juhi takistus saadakse, kui pinge väärtus jagatakse voolutugevuse väärtustega. Juhi takistust saab otseselt mõõta oommeetriga. Takistuse mõõtmiseks tuleb juht vooluringist eemaldada.
- **Takistuse ühik** on 1 oom. Juhi takistus on 1 oom, kui juhi otstele rakendatud pinge 1 volt korral on voolutugevus juhis 1 amper. $1\,\Omega = \frac{1\,V}{1\,A}$.
- **Eritakistus** on füüsikaline suurus, mis iseloomustab aine mõju elektrivoolule. Aine eritakistus on arvuliselt võrdne sellest ainest valmistatud ühikulise pikkuse ja ühikulise ristlõikepindalaga keha takistusega. Eritakistuse ühikuks on $1\,\Omega \cdot m$ või $1\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.
- **Takistite** ja **reostaadiga** reguleeritakse voolutugevust vooluringis. Takisti on kindla takistusega juht, mille takistus on tunduvalt suurem vooluringis kasutatavate juhtmete takistusest. Reostaat on juht, mille takistuse väärtus on muudetav.
- **Jadaühendus.** Kõikides jadamisi ühendatud juhtides on voolutugevus sama väärtusega. Pinge juhtide jada otstel on võrdne pingete summaga juhtide otstel. $U = U_1 + U_2$. Jadamisi ühendatud juhtide kogutakistus on võrdne üksikjuhtide takistuste summaga. $R = R_1 + R_2$. Kui jadamisi on ühendatud mitu sama takistusega juhti on nende kogutakistus $R = nR_i$.
- **Rööpühendus**. Pinge rööbiti ühendatud juhtide otstel on sama väärtusega. Voolutugevus vooluringi hargnemata osas on võrdne voolutugevuste summaga rööbiti ühendatud juhtides. $I = I_1 + I_2$. Kui rööbiti on ühendatud n ühesuuruse takistusega juhti, on juhtide kogutakistus n korda väiksem üksikjuhi takistusest. $R = \frac{R_i}{n}$. Rööbiti ühendatud juhtide kogutakistuse pöördväärtus on võrdne juhtide takistuste pöördväärtuste summaga. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

ELEKTRIVOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS

4 PEATÜKK

Tänapäeval ei kujutada vist küll keegi elu ette elektrita. Elektrivool soojendab ja valgustab meie tubasid, aitab toidu valmistamisel, paneb tööle trammide, trollide, pesumasinate ja tolmuimejate mootorid ning pakub võimalust ikka ja jälle televiisori, magnetofoni või raadio vahendusel tunda rõõmu oma lemmikansamblist ja solistist.

Elektrivool teeb tööd kõigis elektriseadmetes. Töö tegemise kiirust iseloomustatakse võimsusega. Mida suurem on voolu võimsus elektripliidi kõttekehas, seda kiiremini läheb pliidile pandud potis vesi keema. Ka tuba on pimedal ajal valgem, kui kasutatakse võimsamaid lampe. Kuna elektrivoolu ten sest tuleb maksta, on kasulik teada, kuidas on voolu töö seotud voolu võimsusega, kuidas mõõta ja arvutada voolu tööd, et leida võimalusi elektrienergia kokkuhoiuks.

25. ELEKTRIVOOLU TÖÖ

➲ **Kuidas arvutatakse elektrivoolu tööd?**

➲ **Mis ühikutes mõõdetakse elektrivoolu tööd?**

Elektrienergiat on lihtne muundada teisteks ener- liikideks. Näiteks elektripliidi küttekehas muu- elektrienergia soojuseks; elektrilambis soojust valguseks; elektrimootoris aga mehaaniliseks giaks ja soojuseks, sest voolu toimel mootori ka soojeneb.

25.1. Millise füüsikalise suuruse abil iseloomustatakse energia muundumist ühest liigist teise?

Energia ja töö on omavahel seotud. Keha, on energiat, võib teha tööd. Tööga iseloo- tatakse nii energia suuruse muutumist kui ka gia muundumist ühest liigist teise. Et elektriväli energiat, võib ka elektriväli teha tööd. Elektri- töö kaudu muundubki osa elektrienergiast mingi teiseks energialiigiks.

25.2. Millega võrdub elektrivoolu töö?

Kui tekitada juhis elektriväli, hakkavad vabad laengukandjad elektrijõudude mõjul suunatult liikuma ning juhis tekib elektrivool. Kuna juht takistab vabade laengukandjate suunatud liikumist, siis tekib elektriväli nende ümberpaigutamisel juhis tööd. Elektrivälja töö saab avaldada pinge valemist $U = \frac{A}{q}$ kujul $A = U q$.

Teatud ajavahemiku jooksul juhi ristlõiget läbinud elektrilaeng võrdub voolutugevuse ja selle aja- vahemiku korrutisega: $q = I t$. Asendades saadud tulemuse elektrivälja töö valemisse saame elektri- välja töö avaldada seosega

$$A = U I t.$$

Kuna voolutugevus iseloomustab elektrivoolu, siis mõiste *elektrivälja töö* asemel kasutatakse tavaliselt mõistet **elektrivoolu töö**.

Elektrivoolu töö on füüsikaline suurus, mis arvu- liselt võrdub juhi otstele rakendatud pinge, voolu- tugevuse ja töö sooritamiseks kulunud aja korru- tisega.

25.3. Mis on elektrivoolu töö ühikuks?

Nagu mehaanilise töö, nii on ka elektrivoolu töö ühikuks **1 džaul**, ühiku tähis on **1 J**. Elektrivoolu töö ühik võrdub pinge, voolutugevuse ja aja ühikute korrutisega.

1 džaul = 1 volt · 1 amper · 1 sekund

ehk

$$1\ \text{J} = 1\ \text{V} \cdot 1\ \text{A} \cdot 1\ \text{s}.$$

25.4. Kuidas mõõdetakse elektrivoolu tööd?

Elektrivoolu tööd mõõdetakse kaudsel meetodil. Juhi otstel mõõdetakse voltmeetriga, voolu- ampermeetriga ja kellaga ajavahemikku, mille vältel juhis on elektrivool. Voolu töö arvu- tamiseks korrutades pinge, voolutugevuse ja aja- mõõtmise väärtused.

Elektrivoolu töö valemi võib avaldada ka teisel kujul. Kui valemis $A = UIt$ asendada voolutugevus takistuse seaduse kohaselt pinge ja takistuse jaga- tisega, saame voolu töö arvutamiseks valemi

$$A = \frac{U^2}{R} t.$$

Me võime asendada aga elektrivoolu töö valemis pinge ja voolutugevuse ja takistuse korrutisega, saame voolu töö arvutamiseks valemi

$$A = I^2 R t.$$

Need kolm valemit on võrdväärsed ning annavad ülesandes sama tulemuse. Millist valemit antud ülesande lahendamisel on kõige sobivam kasutada, sõltub ülesande andmetest.

25.5. Miks juht elektri- voolu toimel soojeneb?

Elektrisoojendusriistades, näiteks elektripliidi küttekehas, suureneb voolu töö arvel juhi sise- energia ning juhi temperatuur tõuseb. Vooluga kaasnev juhi soojenemine on põhjustatud elektri- väljade mõjul suunatult liikuma hakanud vabade elektronide põrgetest kristallivõre ioonidega. Põr- gete käigus osa elektronide energiast ioonidele, mille tulemusena kristallivõre ioonide energia suureneb. Selle tulemusena suureneb juhi sise- energia ning juhi temperatuur tõuseb. Liikumatus juhis muundub voolu töö tulemusena elektrivälja energia juhi siseenergiaks. Kuna soojenenud juhi temperatuur on ümbritsevate kehade tempera- tuurist kõrgem, algab soojusülekanne juhilt ümbrit- sevatele kehadele. Sel juhul on voolu töö võrdne soojushulgaga Q, mis eraldub vooluga juhis:

25.6. Milliseks energia- liigiks muundub liikumatus juhis voolu töö tulemusena elektrienergia?

$$A = Q.$$

James Prescott Joule

Juhi soojenemist elektrivoolu toimel uurisid eksperimentaalselt inglise füüsik James Prescott Joule (1818–1889) ja vene füüsik Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804–1865). Joule'i uurimistöö võib jagada kahte etappi. Esimestes katsetes uuris ta voolu toimel juhis eraldunud soojushulga sõltuvust juhi takistusest, hiljem aga juhis eraldunud soojushulga

inglise füüsik, Londoni Kuningliku Seltsi liige. Üks energia jäävuse sea- duse avastajatest. Avas- tas voolu soojusliku toime seaduse.

Emil Lenz

25.1. Millega vordub voolu toimel juhis eraldunud soojushulk?

sõltuvust voolutugevusest. Joule avaldas [illegible] uurimistöö kokkuvõtte 1843. aastal.

Sõltumatult Joule'ist jõudis 1844. aastal [illegible] dele tulemustele ka vene akadeemik Heinrich Friedrich Emil Lenz. Baltisakslane Emil Lenz [illegible] Tartus. Ta lõpetas Tartus gümnaasiumi ning [illegible] aastatel 1820 1823 Tartu Ülikoolis. 1828. [illegible] siirdus Lenz tööle St. Peterburgi Teaduste Aka[illegible] miasse, kus ta 1834. aastal valiti akadeemi[illegible] 1836. aastal sai ta St. Peterburgi Ülikooli [illegible] soriks ja 1863. aastast kuni surmani oli ta St. Pe[illegible] burgi Ülikooli rektor.

E. Lenz kuulub oma töödega elektriõpetuse [illegible] jate hulka. Ta avastas 1833. aastal reegli indu[illegible] sioonivoolu suuna määramiseks. (Elektro[illegible] magnetilise induktsiooni nähtusest tuleb [illegible] õppetükis 38.) 1835. aastal avastas Lenz seadu[illegible] pärasuse, kuidas juhi takistus sõltub tempera[illegible] rist, ning 1844. a. voolu soojusliku toime seadus[illegible]

Joule'i ja Lenzi teineteisest sõltumatult avasta[illegible] nimetatakse voolu soojusliku toime ehk Joule-Lenzi seaduseks. **Elektrivoolu toimel juhis eraldunud soojushulk võrdub voolutugevuse ruuduga, juhi takistuse ja aja korrutisega: $Q=I^2Rt$.**

Lähtudes Joule'i-Lenzi seadusest on lihtne seletada, miks elektrilambi hõõgniit kuumeneb voolu toimel kõrge temperatuurini, lampi vooluallikaga ühendavad juhtmed aga seejuures ei soojene märgatavalt. Voolutugevus lambi hõõgniidis ja juhtmetes on küll sama väärtusega, kuid juhtmete takistus on hõõgniidi takistusega võrreldes tühiselt väike. Kui ühendada taskulambipirn patareiga näiteks kahe 25 cm pikkuse ja 1 mm läbimõõduga vase juhtmega, on kummagi juhtme takistus ligikaudu ainult 0,005 Ω. Taskulambipirni hõõgniidi takistus on aga ligikaudu 13,5 Ω. Hõõgniidi takistus on seega umbes 2700 korda suurem juhtme takistusest ja voolu toimel eraldub lambis ka 2700 korda suurem soojushulk kui kummaski juhtmes.

Elektrivoolu töö on füüsikaline suurus, mis arvuliselt on võrdne juhi otstele rakendatud pinge, voolutugevuse ja töö sooritamiseks kulunud aja korrutisega.
Elektrivoolu töö arvutamiseks kasutatakse valemeid:

$$A=UIt;\quad A=I^2Rt;\quad A=\frac{U^2}{R}t.$$

Elektrivoolu töö ühikuks on 1 džaul. 1 J=1 V · 1 A · 1 s.
Elektrivoolu tööd mõõdetakse kaudsel meetodil, kasutades voltmeetrit, ampermeetrit ja kella.

NÄIDISÜLESANNE

Arvutada elektrivoolu töö elektripliidi küttekehas, kui pinge elektripliidi klemmidel on 220 V, küttekeha takistus on 32 Ω ja elektripliit töötab 30 minutit.

LAHENDUS.

Valime voolu töö arvutamiseks sobiva valemi. Kuna ülesandes on antud küttekeha otstele rakendatud pinge ja küttekeha takistus, kasutame valemit

$$A=\frac{U^2}{R}t.\qquad A=\frac{220\,\text{V}\cdot 220\,\text{V}}{32\,\Omega}\cdot 1800\,\text{s}=2722500\,\text{J}$$

$A=2722500\,\text{J}\approx 2700\,\text{kJ}=2{,}7\,\text{MJ}$

VASTUS. Voolu töö elektripliidi küttekehas on 2,7 MJ.

ÜLESANDED

1. Elektrilise küttekeha klemmidel on pinge 220 V. Voolutugevus küttekehas on 5 A. Küttekeha töötab 3 tundi. Kui suur on elektrivoolu töö küttekehas?
2. Tolmuimeja mootoris on voolutugevus 3 A. Pinge mootori mähise otstel on 220 V. Kui kaua töötab tolmuimeja, kui elektrivoolu töö selle aja jooksul on 180 kJ?
3. Juhi otstel on pinge 100 V ja juhi ristlõiget läbib elektrilaeng 300 C. Kui suur on elektrivoolu töö?
4. Voolutugevus elektripliidi küttekehas on 4,2 A. Kui suur on küttekeha takistus, kui 10-minutilise töötamise jooksul on voolu töö küttekehas 580 kJ?
5. Valgusti lamp ja taskulambipirn põlevad 10 minutit. Pinge valgusti lambi hõõgniidi otstel on 220 V ja voolutugevus lambis on 0,27 A. Pinge taskulambipirni hõõgniidi otstel on 3,7 V ja lambi hõõgniidi takistus on 13 Ω. Kummas lambis on elektrivoolu töö suurem ja mitu korda?

PROBLEEMÜLESANNE

1. Lausalambi ühendusjuhtmes ja lambi hõõgniidis on voolutugevus sama suurusega. Miks ei ole ühendusjuhtme soojenemine märgatav?
2. Sama vooluallikaga ühendatakse kord rauast, kord nikeliinist traat. Mõlemad traadid on sama pikkuse ja ristlõike pindalaga. Kummas traadis eraldub voolu toimel sama aja jooksul suurem soojushulk?
3. Vooluringis on jadamisi ühendatud sama pikkuse ja ristlõike pindalaga vasest, rauast ja nikeliinist traadijupid. Millisest ainest traadis eraldub voolu toimel sama aja jooksul kõige suurem, millises kõige väiksem soojushulk?
4. Vooluringi on rööbiti ühendatud sama pikkuse ja ristlõike pindalaga vasest, rauast ja nikeliinist traadijupid. Millisest ainest traadis eraldub voolu toimel sama aja jooksul kõige suurem, millises kõige väiksem soojushulk?
5. Küttekeha on ühendatud vooluallikaga. Mitu korda suureneb sama aja jooksul küttekehas eralduv soojushulk, kui ühendada küttekeha vooluallikaga, mille pinge klemmidel on kaks korda suurem?
6. Kuidas ja mitu korda muutub sama aja jooksul ja sama pinge korral küttekehas eraldunud soojushulk, kui teha küttespiraal kaks korda lühemaks?

26. ELEKTRIVOOLU VÕIMSUS. ARVESTI

- Kuidas arvutatakse elektrivoolu võimsust?
- Mis on elektrivoolu võimsuse ühikuks?
- Kuidas arvestiga mõõdetakse elektrivoolu tööd?

26.1. Millega võrdub elektrivoolu võimsus?

Võimsus iseloomustab töö tegemise kiirust. Mida suurem on masina võimsus, seda rohkem tööd võib masin sama aja jooksul teha. Elektriseadmetes teeb tööd elektrivool. Erinevates elektritarvitites võib elektrivoolu töö sama ajavahemiku vältel olla erinev. Näiteks laevalgusti lambis teeb elektrivool sama aja jooksul palju rohkem tööd kui taskulambipirnis. Sellepärast valgustabki laevalgusti rohkem kui tasku-kulamp.

Elektrivoolu võimsus on füüsikaline suurus, mis võrdub elektrivoolu tööga ajaühikus. Voolu võimsuse saab avaldada voolu töö valemist, jagades voolu töö ajavahemikuga, mille jooksul elektrivool teeb tööd.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI.$$

Elektrivoolu võimsus on arvuliselt võrdne pinge ja voolutugevuse korrutisega. Kuna voolu töö võib avaldada ka seostega

$$A = I^2 R t \text{ ja } A = \frac{U^2}{R} t,$$

saab vastavalt avaldada ka voolu võimsuse:

$$N = I^2 R \text{ ja } N = \frac{U^2}{R}.$$

26.2. Mis on voolu võimsuse ühikuks ja millega see võrdub?

Voolu võimsuse ühikuks on **1 vatt**, ühiku tähis on **1 W. Elektrivoolu võimsus on 1 vatt, kui elektrivoolu töö 1 sekundis on võrdne 1 džauliga.** Voolu võimsuse ühik väljendatakse pinge ja voolutugevuse ühikute kaudu:

1 võimsuse ühik =
= 1 pinge ühik · 1 voolutugevuse ühik,
1 vatt = 1 volt · 1 amper,
1 W = 1 V · 1 A.

26.3. Kuidas mõõdetakse voolu võimsust?

Elektrivoolu võimsust võib mõõta kaudsel meetodil. Voltmeetriga mõõdetakse pinge juhi otstel ja ampermeetriga voolutugevus juhis. Voolu võimsus arvutatakse, korrutades pinge ja voolutugevuse väärtused.

Võimsuse otseseks mõõtmiseks kasutatakse **vattmeetrit**, mis mõõdab üheaegselt nii voolutugevust kui ka pinget. Vattmeeter ühendatakse vooluringi nelja klemmi abil.

Igapäevases kõnes kasutatakse sageli väljendit *elektriseadme võimsus*. Näiteks tolmuimeja võimsus on 1200 W, elektrilambi võimsus 60 W jne. Enamasti räägitakse lähtutakse elektriseadmele või selle passi märgitud võimsuse väärtusest. *Elektriseadme võimsus* ja *elektrivoolu võimsus* on aga erineva tähendusega mõisted. Elektritarvitile või selle passi märgitud võimsust nimetatakse elektriseadme **nimivõimsuseks**. Seadme nimivõimsus on maksimaalne võimsus, mida seade võib arendada ohutuse töötamise jooksul. Nimivõimsusel töötab elektritarviti ainult siis, kui pinge selle klemmidel või selle passi. Seda pinget nimetatakse **nimipingeks**. Näiteks, kui elektrilambile on märgitud „220 V, 100 W", siis tähendab see seda, et elektrivoolu võimsus lambi töötamise ajal on 100 W ainult sel juhul, kui pinge lambi hõõgniidi otstel on 220 V. Kui pinge lambi klemmidel on madalam või kõrgem, näiteks 210 V või 230 V, on ka elektrivoolu võimsus lambi töötamise ajal vastavalt väiksem või suurem kui 100 W. Seega, *elektriseadme võimsus* on suuruselt võrdne *elektrivoolu võimsusega* ainult siis, kui pinge seadme klemmidel on võrdne seadme nimipingega.

26.4. Mida nimetatakse elektriseadme nimivõimsuseks?

Seadmetele märgitud nimivõimsuse väärtus aitab meil valida kõige sobivamat elektriseadet. Ei ole ju mõtet öövalgustis kasutada elektrilampi, mille nimivõimsus on näiteks 300 W. Samas ei piisa aga klassiruumi valgustamiseks elektrilampidest, mille nimivõimsus on vaid 15 W.

Teades elektrivoolu võimsust ja seadme töötamise aega, saab võimsuse ja aja kaudu arvutada elektrivoolu töö:

$$A = N t.$$

26.5. Millal on elektriseadmes voolu võimsus võrdne seadme nimivõimsusega?

Valemist lähtuvalt saab ka voolu töö ühiku avaldada võimsuse ühiku ja aja ühiku kaudu.

1 töö ühik = 1 võimsuse ühik · 1 aja ühik,

1 džaul = 1 vatt · 1 sekund,

1 J = 1 W · 1 s.

26.6. Millistes ühikutes mõõdetakse elektrivoolu tööd?

Elektrienergia tarbimises ja müügis kasutatakse voolu töö mõõtmiseks ühikut

1 kilovatt-tund (1 kW · h).

$1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 1000\ \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 3600000\ \text{J} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}$

Ühiku 1 kW · h kasutamine on mugav, kuna arvestades kasutatavate elektritarvitite nimivõimsust, on lihtne planeerida elektrienergia kulu.

26.7. Milleks kasutatakse elektrienergia arvestit?

Elektrienergia müümisel mõõdetakse voolu töö spetsiaalse mõõteriista - **elektrienergia arvesti** abil. Kõnekeeles nimetatakse arvestit ka **vooluмõõtjaks**. Arvestiga saab mõõta elektrivoolu tööd korteris, kogu majas jne. Korteri elektrienergia arvesti paigaldatakse kas maja trepikotta või korterisse. Arvesti esiküljel on aknake, kust on näha üks või kaks numbrite rida ja alumiiniumkettake, mis pöörleb siis, kui mõni elektritarviti töötab. Mida rohkem elektrienergiat tarbitakse, seda kiiremini arvesti kettake pöörleb. Numbrite rida kajastab tarbitud elektrienergia väärtust kilovatt-tundides. Kõige parempoolsem number vastab tavaliselt kilovatt-tunni kümnendikele. Kuu jooksul tarbitud elektrienergia väärtuse saame, kui fikseerime kord kuus mõõteriista näidu ja lahutame sellest eelmise kuu samal kuupäeval võetud näidu. Kui arvesti aknakesest on näha kaks rida numbreid, on arvesti abil nähtud voolu töö mõõtmiseks eraldi päevasel ja öisel ajal. Öisel ajal müüakse elektrienergiat tavaliselt odavamalt kui päeval.

Elektrienergia arvesti

26.8. Kuidas mõõdetakse voolu tööd elektrienergia arvestiga?

Elektrivoolu võimsus on füüsikaline suurus, mis on võrdne elektrivoolu tööga ajaühikus.

Elektrivoolu võimsuse arvutamiseks kasutatakse valemeid:

$$N = UI; \quad N = I^2R; \quad N = \frac{U^2}{R}.$$

Elektrivoolu võimsuse ühikuks on 1 vatt. $1\ \text{W} = 1\ \text{V} \cdot 1\ \text{A}$.

Elektrivoolu võimsuse kaudseks mõõtmiseks kasutatakse voltmeetrit ja ampermeetrit.

Elektrivoolu võimsust mõõdetakse otseselt vattmeetriga.

NÄIDISÜLESANDED

1. Kui suur on voolu võimsus elektrilise veesoojendi töötamise ajal, kui pinge seadme klemmidel on 220 V ja voolutugevus seadmes 10 A?

ANTUD: $U = 220\ \text{V}$, $I = 10\ \text{A}$, $N = ?$

LAHENDUS.

Elektrivoolu võimsuse saab arvutada seosest $N = UI$.

$N = 220\ \text{V} \cdot 10\ \text{A} = 2200\ \text{W} = 2{,}2\ \text{kW}$

VASTUS. Elektrivoolu võimsus veesoojendi töötamise ajal on 2,2 kW.

2. Elektrienergia arvesti näit 1. märtsil 1998 oli 08450,5 kW · h ja 1. aprillil 08832,5 kW · h. Kui palju tuli maksta elektrivoolu töö eest märtsis, kui elektrienergia hind oli 0,65 $\frac{\text{EEK}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$?

ANTUD: $A_1 = 08450{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}$, $A_2 = 08832{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}$, hind $= 0{,}65\ \frac{\text{EEK}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$, Makse $= ?$

LAHENDUS.

Elektrivoolu töö märtsis on võrdne arvesti 1. aprilli ja 1. märtsi näitude vahega.

$A = A_2 - A_1$

$A = 08832{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h} - 08450{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h} = 382{,}0\ \text{kW} \cdot \text{h}$

$\text{Makse} = 382{,}0\ \text{kW} \cdot \text{h} \cdot 0{,}65\ \frac{\text{EEK}}{\text{kW} \cdot \text{h}} = 248{,}3\ \text{EEK}$

VASTUS. Märtsis tarbitud elektrienergia eest tuli maksta 248 krooni ja 30 senti.

3. Lauavalgustis on elektrilamp võimsusega 60 W. Valgustit kasutatakse ööpäevas keskmiselt 5 tundi. Kui suur on planeeritav elektrienergia kulu ühe kuu (30 päeva) jooksul?

ANTUD: $N = 60\ \text{W} = 0{,}06\ \text{kW}$, $t_1 = 5\ \text{h}$, $n = 30$ päeva, $A = ?$

LAHENDUS.

$A = N t$

$t = n t_1$

$t = 30 \cdot 5\ \text{h} = 150\ \text{h}$

$A = 0{,}06\ \text{kW} \cdot 150\ \text{h} = 9\ \text{kW} \cdot \text{h}$

VASTUS. Voolu planeeritav töö 60 W elektrilambi töötamisel ühe kuu jooksul on 9 kWh.

ÜLESANDED

1. Teisenda elektrivoolu töö 5 kW · h džaulideks.
2. Pinge juhi otstel on 24 V. Voolutugevus juhis on 2 A. Kui suur on vastu võimsus?
3. Voolutugevus elektrilambis on 0,27 A. Lambi hõõgniidi takistus on lambi töötamise ajal 807 Ω. Kui suur on voolu võimsus lambis?
4. Laevalgustis põlevad kaks lampi, võimsustega 60 W ja 100 W. Pinge lampide hõõgniitide otstel on 220 V. Kui suur on voolutugevus kummaski lambis? Kummas lambis teeb elektrivool sama aja jooksul rohkem tööd?
5. 800-vatise võimsusega kohviautomaat töötab 10 minutit. Pinge kohvi automaadi klemmidel on 220 V. Kui suur on voolu töö kilovatt-tundides?
6. Ühe lambi võimsus on 100 W, teise lambi võimsus on 25 W. Kumma lambi hõõgniidi takistus on lambi töötamise ajal suurem ja mitu korda?
7. Elektripliidi passi on kirjutatud "0,8 kW, 220 V". Kui suur on küttekeha takistus? Kui suur on voolu võimsus elektripliidi küttekehas, kui pinge klemmidel on 230 V? (Takistuse sõltuvust temperatuurist mitte arvestada.)

PROBLEEME

1. Reostaati kasutati küttekehana. Reostaadi traat põles läbi. Pärast remonti oli traat veidi lühem. Milline on pärast remonti reostaadis teatud aja jooksul eraldunud soojushulk ja voolu võimsus võrreldes endise olukorraga, kui reostaadi klemmidele on rakendatud sama väärtusega pinge kui enne remonti?
2. Elektripliidi plaadis on kaks sama suure nimivõimsusega küttekeha. Plaati on võimalik lülitada tööle kolmel erineval võimsusel. Kuidas on neil juhtudel ühendatud vooluringi küttekehad?
3. Jälgi elektriseadmete kasutamist oma kodus kolme päeva jooksul. Tee tabel, kuhu märgid seadme nimivõimsuse ja töötamise aja igal päeval eraldi. Arvuta tabeli andmete põhjal elektrienergia tarbimine oma kodus kolme päeva jooksul ja võrdle seda arvesti näitude vahega. Arvesti näit tuleb võtta enne mõõtmiste algust ja pärast mõõtmiste lõppu. Oma tulemuste põhjal tee järgmised tööd.
   1) Projekteeri elektrienergia tarbimine oma kodus ühe aasta jooksul.
   2) Arvuta, kui palju võiksid Eesti elanikud tarbida aastas elektrienergiat, kui kõik tarbiksid seda selliselt nagu Sinu kodus. Arvutustes lähtu sellest, et Eestis on 1,4 miljonit inimest.
   3) Leia teatmekirjandusest Eestis aastas toodetava elektrienergia kogus ning arvuta, kui suur osa sellest tarbitakse Sinu andmete põhjal kodudes. Võrdle oma tulemusi klassikaaslaste tulemustega.
   4) Analüüsi elektrienergia tarbimist oma kodus ja leia võimalusi elektrienergia säästmiseks.

27. HÕÕGLAMP. ELEKTRISOOJENDUSRIISTAD

Milline on hõõglambi ehitus?
Milline on lambipesa ehitus?
Milline energia muundumine toimub kütteelemendis?

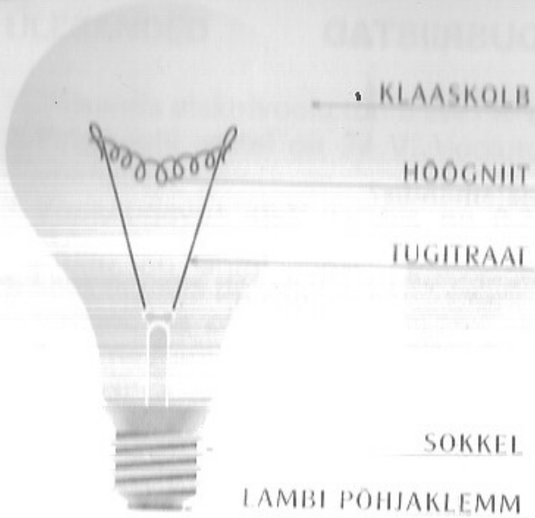
Hõõglampe on mitmesuguseid.

Kõige levinenum ektritarviti on **hõõglamp**. Hõõglambis muundub elektrienergia soojuseks ja valguseks. Hõõglambi tähtsaimaks osaks on **hõõgniit** peenikesest volframtraadist spiraal. Hõõgniit kuumeneb elektrivoolu toimel kuni 3000 °C. Sellisel temperatuuril saavutab kuum keha valge hõõguse ja valgustab heledalt. Hõõgniit valmistatakse volframist sellepärast, et see aine talub kõrget temperatuuri. Volframi sulamistemperatuur on 3387 °C.

27.1. Miks on hõõgniit valmistatud volframist?

Hõõgniit asub klaaskolvis, millest õhk on välja pumbatud. Kuum volfram oksüdeeruks õhus kiiresti ja hõõgniit katkeks. Ka õhutühjas ruumis ei peaks hõõgniit kaua vastu, sest kuum volfram aurustub. Et seda takistada, on hõõglambi klaaskolb täidetud gaasiga – lämmastiku, argooni või krüptooniga. Hõõglambi klaaskolvi otsas on metallist sokkel. Kolvi sees on klaasist tugi, millesse on sulatatud tugitraadid hõõgniidi hoidmiseks. Äärmiste tugitraatide otsad on joodetud sokli külge. Üks tugitraat on ühendatud sokli keermega, teine keermest isoleeritud lambi põhjaklemmiga. Mõnedes autolampides võib olla kaks hõõgniiti, mis tarbivad erinevat voolu võimsust. Kaks hõõgniiti on näiteks kaug- ja lähitule lambis.

27.2. Milline on hõõglambi ehitus?



Joonis 27.1
Hõõglambi ehitus

Joonis 27.2.
Lambipesa ehitus.

27.3. **Mille poolest erineb halogeenlamp tavalisest hõõglambist?**

Väikesemõõtmelised **halogeenlambid**, mida kasutatakse autode valgustites, projektsiooniaparaatides ja ka töö- ning eluruumide valgustamiseks, on tavaliselt täidetud joodi aurudega. Kõrgel temperatuuril gaasiline jood paisub ning takistab volframi aurustumist. Halogeenlambid kiirgavad voolu sama võimsuse korral palju enam valgust kui tavalised hõõglambid. Halogeenlambid on töötamise ajal väga kuumad. Töötava lambi temperatuur võib mõnel juhul olla isegi üle 500 °C. Seetõttu on halogeenlambid palju tuleohtlikumad kui tavalised hõõglambid. Halogeenlambi kolb on valmistatud kvartsist, mis talub kõrgemat temperatuuri kui klaas. Lambi vahetamisel ei tohi kvartsist kolvi pinda sõrmedega puudutada, sest sõrmed on alati higised. Higi põleb aga kuuma kolvi külge ja lamp võib kiiresti rikneda. Halogeenlambid võivad kiirata inimesele kahjulikku ultraviolettkiirgust. Selle kõrvaldamiseks on nimmide valgustamiseks mõeldud halogeenlampidega valgustitesse paigaldatud spetsiaalsed kaitseklaasid.

27.4. **Milline on lambipesa ehitus?**

Vooluringi ühendamiseks keeratakse lamp keermestatud lambipessa. Pesa põhjas on vedrukontakt, mis puutub kokku lambi põhjaklemmiga. Pesa metallkeere ja vedrukontakt on klemmide abil ühendatud juhtmetega. Autolampide soklid ei ole keermestatud, neid kutsutakse bajonettsokliteks.

Ka halogeenlampide soklid on tavaliselt keermestamata. On halogeenlampe, mille soklid on sarnased autolambi soklile, ning lampe, mille sokli

otsas on kaks tihvti nagu laualambi pistikul. Silindrikujuliste halogeenlampide klemmid asuvad lambi kummaski otsas.

27.5. **Millised andmed on märgitud igale lambile?**

Igale hõõglambile on märgitud lambi nimipinge ja nimivõimsus. Ruumide valgustamiseks kasutatavad hõõglambid on arvestatud pingele 220 V, projektsiooniseadmete halogeenlambid on tavaliselt arvestatud pingele 24 V, autode lambid pingele 12 V, taskulambipirnid pingele 2,5 V ja 3,5 V jne. Hõõglampide nimivõimsus on tavaliselt vahemikus 15 vatist kuni 3000 vatini. Valgustusotstarbel lampidel, mille võimsus on üle 300 W, on tavaliselt suurem sokkel.

Kasutades kasutatavad halogeenlambid on arvestatud pingele kas 220 V või 12 V. Valgusti, milles otsev halogeenlamp töötab pingel 12 V, on varustatud spetsiaalse seadmega, mis muundab 220 V pinge 12 V pingeks.

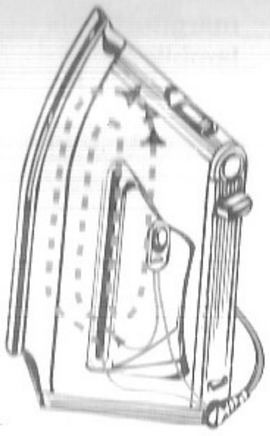
Esimese praktiliseks kasutamiseks sobiva hõõglambi konstrueeris 1873. aastal vene insener Aleksandr Lodõgin. Selles lambis kuumenes elektrivoolu toimel ohutühja klaaskolbi paigutatud süsipulk. 1879. aastal konstrueeris ameerika leidur Thomas Alva Edison juba tänapäevase kujuga hõõglambi. Edison hakkas söevarda asemel hõõgnõelana kasutama spetsiaalselt töödeldud bambusest valmistatud süsiniiti. Tema süsiniitlambid olid varustatud ka sokliga, mis võimaldas lahtipõlenud lampe kiiresti vahetada. Edisoni lambid vallutasid peagi Ameerika ja veidi hiljem ka Euroopa, asendades seni kasutusel olnud gaasivalgustuse. Umbes kümme aastat hiljem täiendas Lodõgin veelgi hõõglampi, asendades süsiniidi volframspiraaliga.

Peale hõõglambi töötavad elektrivoolu soojuslikul toimel ka mitmesugused **elektrisoojendusriistad**. Koduses majapidamises on neist tuntumad elektripliit, elektriline veekeetja, kohvimasin, toster, triikraud, elektriradiaator, soojaõhupuhur, jootekolb jt.

27.6. **Milline energia muundumine toimub elektrisoojendusriistades?**

Kõikide elektrisoojendusriistade põhiosaks on **kütteelement**, milles elektrivälja energia muundub juhi siseenergiaks. Kütteelement valmistatakse suure eritakistusega ainest, mis ei sula kuumu-

27.7. Millised omadused on ainel, millest on valmistatud kütteelement?



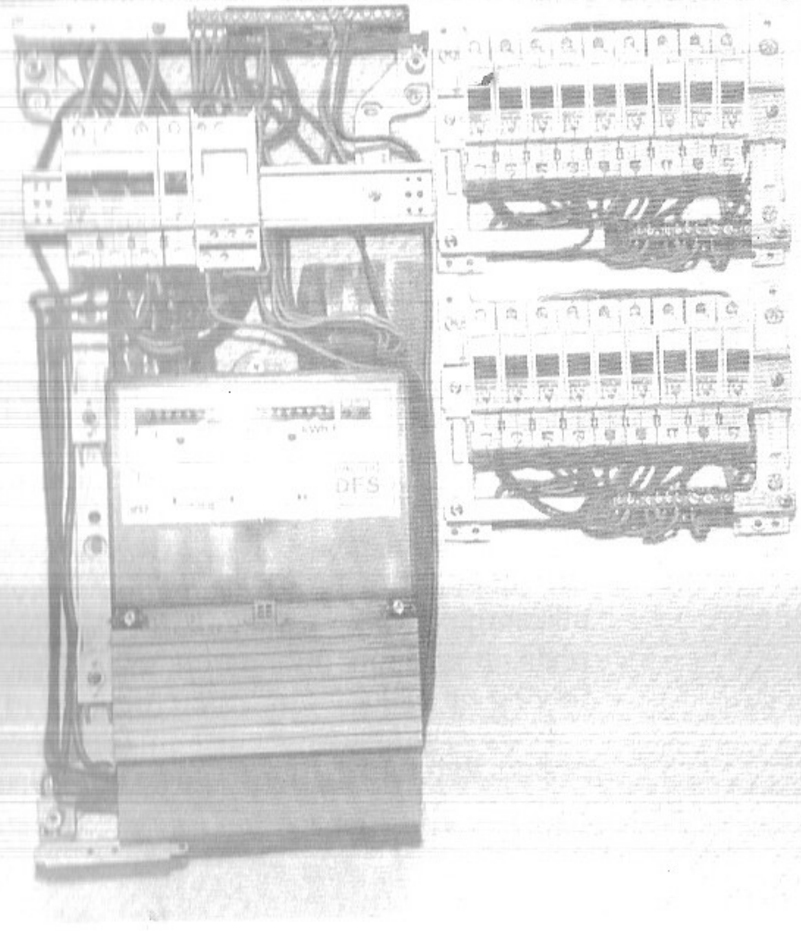
Joonis 27.3. Triikraua kütteelement.

tamisel temperatuurini 1000 – 1200 °C. Sageli on kütteelement valmistatud nikli, raua, kroomi ja mangaani sulamist, mida kutsutakse nikroomiks. Kuna nikroomil on suur eritakistus ($\rho = 1{,}1\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$), saab nikroomtraadist valmistada väikeste mõõtmetega kütteelemente.

Paljud elektrisoojendusriistad on varustatud termoregulaatoriga, mis teatud temperatuuri juures katkestab vooluringi. Sel teel välditakse seadme ülekuumenemist. Kui seade on jahtunud sobiva temperatuurini, lülib termoregulaator elektrivoolu uuesti seadmesse. Termoregulaatoriga on varustatud näiteks triikrauad, praeahjud, elektriradiaatorid, puhurid jt.

KOKKUVÕTE

- **Elektrivoolu töö** kaudu muundub elektrivälja energia teisteks energialiikideks. Voolu töö on füüsikaline suurus, mis on arvuliselt võrdne juhi otstele rakendatud pinge, voolutugevuse ja töö sooritamiseks kulunud aja korrutisega. Voolu tööd saab arvutada valemite $A = UIt$, $A = I^2Rt$ ja $A = \frac{U^2}{R}t$ abil. Voolu töö ühikuks on 1 J ja 1 kW · h. Elektrivoolu tööd mõõdetakse kaudselt voltmeetri, ampermeetri ja kella abil ning otseselt elektrienergia arvesti abil.
- **Elektrivoolu võimsus** on füüsikaline suurus, mis on võrdne elektrivoolu tööga ajaühikus. Voolu võimsust saab arvutada valemite $N = UI$, $N = I^2R$ ja $N = \frac{U^2}{R}$ abil. Voolu võimsuse ühikuks on 1 W. Elektrivoolu võimsust mõõdetakse kaudselt voltmeetri ja ampermeetriga või otseselt vattmeetriga. Voolu võimsus elektriseadmes on võrdne seadme nimivõimsusega ainult sel juhul, kui pinge seadme klemmidel on võrdne nimipingega.
- **Elektrisoojendusriistades** muundub elektrivälja energia juhi siseenergiaks. Elektrisoojendusriistade kütteelemendid valmistatakse suure eritakistusega ainest, millel on kõrge sulamistemperatuur.



Tänapäeval on elektriseadmete kasutamine muutunud nii endastmõistetavaks, et sageli unustatakse, kui ohtlik elektrivool võib inimesele olla. Igal aastal juhtub aga elektriseadmete kasutamisel inimeste teadmatuse ja hooletuse ning elektriseadmete rikete tõttu palju raskeid õnnetusi – tulekahjusid, vigastusi ja surmajuhtumeid. Et neid vältida, tuleb teada elulisimat elektriohutuse nõuetest, osata elektriseadmeid kasutada ennast ja seadmeid säästvalt, osata jälgida seadmete korrasolekut, et vajaduse korral saaksid rikked kiiresti parandatud.

28. ELEKTRIVÕRK KODUS. FAASIJUHE JA NULLJUHE

- **Kuidas ühendatakse elektrivõrku elektritarvitid?**
- **Mille poolest erinevad faasijuhe ja nulljuhe?**
- **Kuidas saab kindlaks teha faasijuhet ja nulljuhet?**
- **Milles seisneb auto elektrisüsteemi omapära?**

28.1. Millised elektritarvitid on kohtkindlad, millised teisaldatavad?

Elektrijaotusvõrk. Enamik meie kodudes olevatest elektritarvititest on hõõglambid mitmesuguses valgustites. Osa valgusteid on **kohtkindlad**. Näiteks laevalgusti asub alati samas kohas ning selle ümberpaigutamine nõuab juba juhtmete lahti ühendamist. Kohtkindlad on tavaliselt ka elektripliit, pesumasin ja elektriboiler. Tolmuimeja, laua valgusti, raadio ja kohvimasin on aga **teisaldatavad** elektritarvitid. Neid võib ühendusjuhtme otsas oleva pistiku abil ühendada suvalise pistikupesa ehk seinakontaktiga.

28.2. Kuidas ühendatakse elektritarvitid elektrijaotusvõrku?

Kõik pistikupesad ja kohtkindlad elektriseadmed on ühendatud korteri **elektrivõrku**. Korteri elektrivõrk moodustab ühe osa maja elektrivõrgust, see omakorda mingi osa veelgi suuremast elektrivõrgust jne. Korterite, majade jm. elektrivõrgud kokku moodustavad ühtse **elektrijaotusvõrgu**, mis on ühendatud elektrijaamades olevate vooluallikatega. Kõik kohtkindlad elektriseadmed ja pistikupesadega ühendatud teisaldatavad elektritarvitid on elektrijaotusvõrku ühendatud rööbiti.

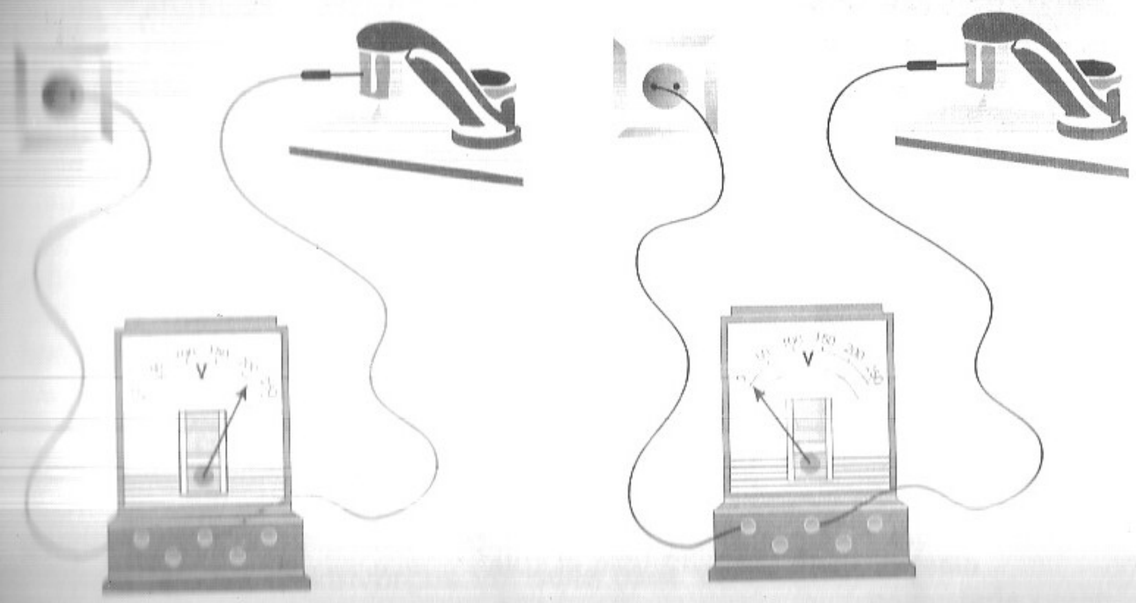
Elektrienergia jaotussüsteem on sarnane kasvava puuga. Puu toidab juurte kaudu oma oksi, oksakesi, lehti ja vilju. Toitained kanduvad juurtest mööda tüve oksteni ja oksakesteni, kust jõuavad lõpuks iga üksiku lehe ja viljani. Samuti on ehitatud ka elektrienergia jaotussüsteem. Elektrijaamas toodetud elektrienergia edastatakse elektriliine pidi linnadesse ja asulatesse, kus see jaotatakse linnaosade vahel. Linnaosades jaotatakse see omakorda majade gruppidele, sealt edasi majadele, lõpuks iga üksiku korteri igale elektritarvitile.

Faasijuhe ja nulljuhe. Meie kodudes on kasutusel vahelduvvool pingega 230 V. Kuna pistikupesa klemmid on pingestatud, võib elektrivool tekkida igas juhis, mis ühendatakse pistikupesa klemmidega. Et inimene on elektrijuht, siis pistikupesa klemmide puudutamisel võib ka inimese kehas tekkida eluohtlik elektrivool.

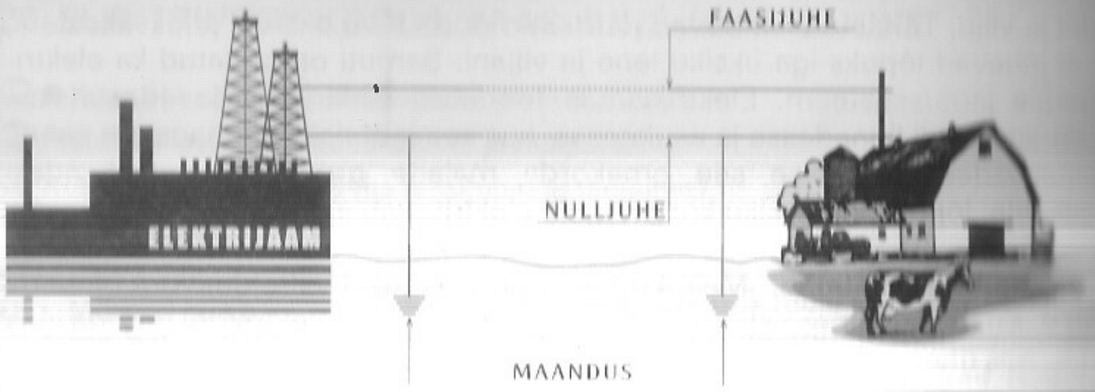
Pistikupesas on vähemalt kaks klemmi. Kumbki klemm on elektrijaotusvõrgu kaudu ühendatud vooluallika eri poolusega. Kui ühendada vahelduvpinge voltmeeter pistikupesa klemmidega, näitab see pinge olemasolu.

Voltmeeter võib näidata pinget ka siis, kui mõõteriista üks klemmidest ühendada pistikupesa klemmiga, teine aga veevärgi toruga. Pinge on alati pistikupesa ühe klemmi ja veetoru vahel, teise klemmi ja veetoru vahel pinget ei ole (joonis 28.1). Selliste mõõtmistulemuste põhjuseks on see, et pistikupesa ühe klemmi juurde tulev juhe ja veevärgitoru on mõlemad ühendatud Maaga.

Elektrijaotusvõrgus on vooluallikateks elektrivoolugeneraatorid. Iga generaatori üks poolus on elektrijaamas ühendatud Maaga. See on vajalik elektrienergia tootmise ja ülekandesüsteemide ühtsustamiseks, et elektrijaotusvõrku saaks ühendada korraga mitmeid elektrijaamu ja generaatoreid.



Joonis 28.1. Pistikupesa ühe klemmi ja veekraani vahel on pinge, teise klemmi ja veekraani vahel pinget pole.



Joonis 28.2. Üks elektrijuhtmetest, mis ühendab elektrijaama meie koduga, on maandatud.

28.3. Mida näitab voltmeeter, kui selle üks klemm ühendada Maaga, teine pistikupesa klemmiga?

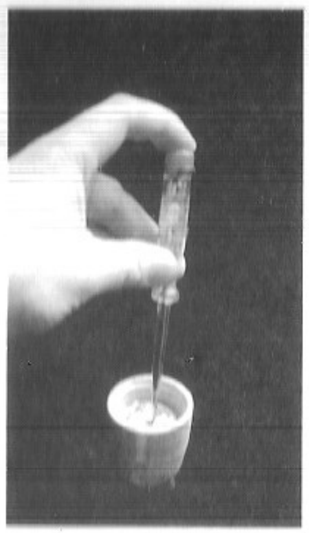
Juhe, mis tuleb generaatori maandatud poolusest, on Maaga ühendatud ka mitmel pool ülekande liinides ja lõpuks iga korteri elektrikilbis (joonis 28.2).

Elektrivorgu maandatud juhet nimetatakse **nulljuhtmeks**. Pinge nulljuhtme ja Maa vahel on võrdne nulliga. Maandamata juhet nimetatakse **faasijuhtmeks**. Pinge faasijuhtme ja Maa vahel on meie kodudes 220 V.

28.4. Mille poolest erineb faasijuhe nulljuhtmest?

Faasijuhet võib nulljuhtmest eristada voltmeetri abil. Eelpool kirjeldatud meetod faasijuhtme määramiseks on aga kohmakas ja ohtlik. Palju ohutum on juhtmete eristamiseks kasutada **pingeindikaatorit**. Pingeindikaator on väliselt sarnane kruvikeerajaga. Selle käepidemes on aknake, kust paistab lambike. Lambikese üks klemmidest on ühendatud pingeindikaatori otsaklemmiga, teine läbi suure takistusega takisti seadme käepidemes oleva klemmiga. Kui pingeindikaatori otsaklemm ühendada faasijuhtmega ning samal ajal puudutada sõrmega indikaatori käepidemes olevat klemmi, sulgub vooluring läbi Maaga ühendatud inimese. Lambis tekib elektrivool ja lamp hakkab helendama. Kuna pingeindikaatoris oleva takisti takistus on väga suur, on voolutugevus vooluringis nii väike, et inimene seda ei tunne. Kui pingeindikaatori otsaklemm ühendada aga nulljuhtmega, siis lambike ei süti.

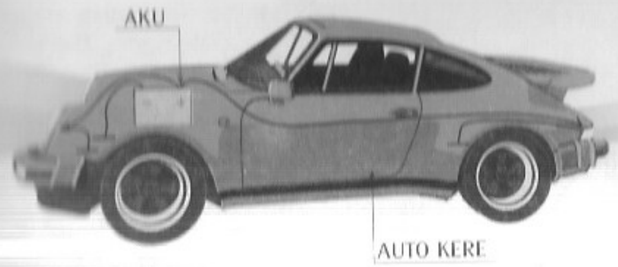
28.5. Kuidas kasutatakse pingeindikaatorit?



Pingeindikaator

Auto elektrisüsteem. Kui oled vaadelnud auto elektrijuhtmestikku, oled ehk märganud, et autos tuleb iga elektritarviti juurde ainult üks juhe. Kas

28.6. Mille poolest on eriline auto elektrisüsteem?



Joonis 28.3. Aku negatiivne poolus on ühendatud auto kerega.

lihtsalt võib näiteks suunatule lambis olla vool ka siis, kui lamp on akuga ühendatud ainult ühe juhtme abil?

Nii see tegelikult siiski ei ole. Teiseks juhtmeks auto elektrisüsteemis on auto metallkere (joonis 28.3). Ei ole ju mõtet isoleerida näiteks suunatule lambipesa auto kerest ja viia vooluallikalt lambipesani kahte juhet. Juhtmeid saab kokku hoida, kui teise juhtmena kasutada auto keret. Sellise ühendusviisi korral on auto koik elektritarvitid ühendatud omavahel rööbiti ning neile on rakendatud ühesuurune pinge. Tavaliselt on auto kere ühendatud aku negatiivse poolusega.

29. LÜHIS. KAITSMED

Mida nimetatakse lühiseks ja mis võib põhjustada lühise?
Mis on kaitse ja kuidas kaitse töötab?
Miks kasutatakse kaitsmeid?

Voolutugevus elektrivõrgu juhtmetes sõltub elektrivõrgus töötavate elektriseadmete võimsusest. Kuna igal juhtmel on teatud takistus, siis voolu läbimel juhtmed soojenevad. Juhtmes eralduv soojushulk sõltub voolutugevusest ja juhtme takistusest. Kui voolutugevus suureneb näiteks kaks korda, suureneb juhtmes eraldunud soojushulk tervelt neli korda (vt. õppetükk 25). Kuna elektrijuhtmetele kulub väga palju metalli, siis püütakse kasutada võimalikult peeni juhtmeid. Sõltuvalt juhtmete ainest, jämedusest ja teistest tingimustest, on igas elektrivõrgus voolutugevus piiritletud teatud suurima lubatud väärtusega. Kui voolutugevus elektrivõrgu mingis osas ületab selle väärtuse, võivad juhtmed kuumeneda nii kõrge temperatuurini, et neid kattev isolatsioonikiht sütib.

29.1. Mis võib juhtuda, kui voolutugevus juhtmes ületab lubatud väärtuse?

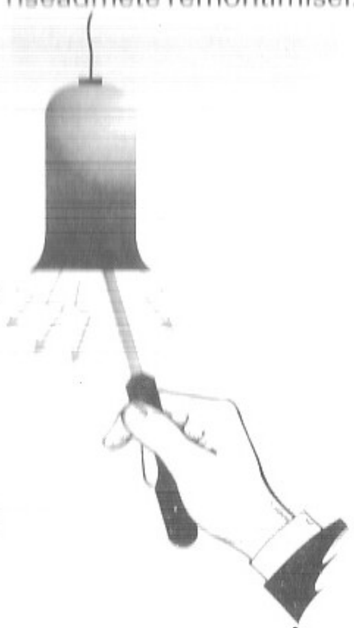
Voolutugevus elektrivõrgus või selle osas võib ületada lubatud väärtuse kahel juhul:

1) kui üheaegselt ühendatakse rööbiti mitu suure võimsusega elektritarvitit;
2) **lühiühenduse** ehk **lühise** korral.

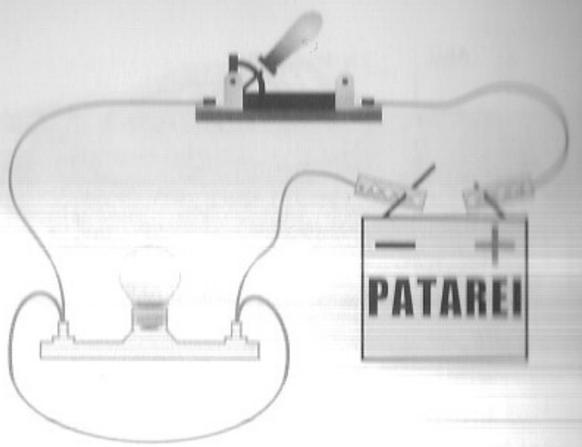
29.2. Mis võib põhjustada voolutugevuse järsu suurenemise elektrivõrgus?

Joonis 29.1. Lühis vooluringis. ⇒

Joonis 29.2. Lühis võib tekkida pingestatud elektriseadmete remontimisel.



29.3. Mida nimetatakse lühiseks?



Oletame, et vooluring koosneb taskulambi patareist, lambist, lülitist ja juhtmetest. Selles vooluringis võib tekitada lühise, kui ühendada lambipesa klemmid omavahel lühikese jämeda traadiga (joonis 29.1). Sellise ühenduse korral on lamp ja jäme traat vooluringis rööbiti. Teatavasti on rööbiti ühendatud juhtide kogutakistus alati väiksem ka kõige väiksema takistusega juhi takistusest (vt. õppetükk 24). Seega väheneb lühise korral järsult vooluringi takistus. **Lühiseks nimetatakse vooluringi mingi osa otste ühendust juhiga, mille takistus on selle osa tavalise takistusega võrreldes väga väike**. Lühise korral on vooluallikaga ühendatud juhtide kogutakistus võrdne ainult ühendusjuhtmete takistusega. Et see on väga väike, tekib juhtmetes väga tugev vool, nn. **lühisvool**. Lühise tagajärjeks on voolutugevuse järsk suurenemine vooluringis. Lühisvool võib kutsuda esile juhtmete ülemäärase kuumenemise ning rikkuda vooluallika.

29.4. Millistel juhtudel võib tekkida lühis?

Lühis tekib tavaliselt riknenud isolatsiooniga või isolatsioonita faasi- ja nulljuhtme juhuslikul kokkupuutel või faasijuhtme kokkupuutel elektriseadme Maaga ühendatud metallkerega. Lühis võib tekkida ka siis, kui rikutakse elektriohutuse nõudeid ja remonditakse pingestatud elektriseadmeid (joonis 29.2). Et vältida lühise tekkimist, tuleb elektriseadmete remontimisel ja rikete kõrvaldamisel elektrivool katkestada.

29.5. Mis on kaitsme ülesandeks?

Vooluallika, elektriseadmete ja juhtmete kaitseks varustatakse elektrivõrgud ja vooluringid **kaitsmetega**. Kaitse katkestab voolu, kui voolutugevus juhtmetes ületab lubatud väärtuse. Kaitsmed paigaldatakse majade ja korterite elektrivõrkudesse

Sulavkaitsmed

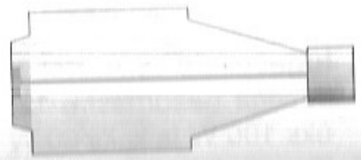
29.6. Kuhu kaitse paigutatakse?

isolamisi elektritarvititega. Kaitsmetega varustatakse ka liiklusvahendid ning keerulisema ehitusega elektriseadmed. Lühise korral seadme mingis elemendis või sõlmes katkestab kaitse voolu, kaitstes sel viisil seadme teisi elemente.

Elektrivõrgus paigaldatakse kaitsmed faasijuhtmele neisse kohtadesse, kus elektrivõrk hargneb, samuti kohtadesse, kus edaspidi kasutatakse väiksema ristlõikega juhtmeid. Paljude korteritega elumajas varustatakse kaitsmetega terve maja elektrivõrk, teatud korterite grupi ja samuti iga korteri elektrivõrk. Korteri elektrikilbis asub kaitse elektriarvestist korterisse tulevas faasijuhtmes. Suuremates korterites on laevalgustid ja pistikupesad jaotatud tubade kaupa tavaliselt mitmele kaitsmele. Kui korteris on kohtkindel elektripliit, on sellel ka oma kaitse.

29.7. Milline on sulavkaitsme ehitus ja kuidas see töötab?

Kaitsmeid on mitut liiki. Levinud on **sulavkaitsmed**. Sulavkaitsme põhiosaks on kergesti sulavast materjalist traat. Traat asub portselanist korgis ja ühendab korgi keermestatud osa põhjakontaktiga (joonis 29.3). Sulavkaitsme traat on sellise läbimooduga, et talub kestvalt teatud kindla tugevusega voolu, näiteks 10 A või 20 A jne. Kui voolutugevus ületab kaitsmele märgitud väärtuse, traat sulab ja katkestab voolu. Sulavkaitsmed on ainult ühekordseks kasutamiseks.



Joonis 29.3. Sulavkaitsme ehitus.

Suurim lubatav voolutugevuse väärtus on kaitsmele märgitud kas numbri või tunnusvärviga. Ka kaitsmepesa põhjas on selline märge. Kaitsmepessa tohib keerata ainult sellist kaitset, mille

Tabel 9. Kaitsmete tunnusvärvide tähendus.

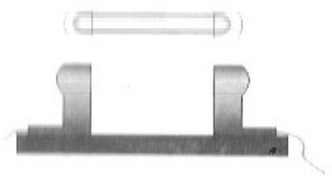
Tunnusvärv	Suurim lubatud voolutugevus	Suurim lubatud võimsus
Roheline	6 A	1400 W
Punane	10 A	2300 W
Hall	16 A	3700 W
Sinine	20 A	4600 W
Kollane	25 A	5800 W

voolutugevuse lubatav väärtus vastab kaitsmepesale märgitule. Kaitsmete tunnusvärvid on esitatud tabelis 9.

Sulavkaitsmetes, mida kasutatakse raadiotes, televiisorites ja teistes elektriseadmetes, asub kergesti sulavast metallist traat metallotstega klaasist või portselanist torukeses. Traat on kinnitatud kaitsme metallotste külge. Kaitsmete paigaldamiseks on elektriseadmetes vastavad pesad (joonis 29.4).

Tänapäeval kasutatakse rohkesti **bimetallkaitsmeid**, mille kõige tähtsamaks osaks on kahest eri metallist kokkukeeditud plaat. Voolu toimel plaat soojeneb. Kuna eri metallid paisuvad soojenedes erinevalt, siis plaat kaardub. Kui voolutugevus vooluringis ületab lubatud väärtuse, kaardub plaat sedavõrd, et katkestab voolu. Pärast plaadi jahtumist võib kaitsmel olevale nupule vajutamisega taastada esialgse olukorra. Kaitsmel on ka teine nupp, millega võib näiteks remonditööde korral voolu katkestada. Bimetallkaitset saab kasutada korduvalt.

29.8. Kuidas töötab bimetallkaitse?



Joonis 29.4. Elektriseadmetes kasutatav sulavkaitse.

1. Mis võib juhtuda, kui laualambi ühendusjuhtme abil ühendada vooluvõrku suure võimsusega elektripliit?
2. Miks mähitakse elektrijuhtmete ühenduskoha ümber isoleerpaela?
3. Läbipõlenud sulavkaitse tuleb asendada uuega. Sulavkaitsmeid ei lubata remontida. Mis võib juhtuda, kui asendada sulavkaitsme läbipõlenud traat ettenähtust jämedamaga?
4. Miks tekib triikraua ühendusjuhtmes lühis tavaliselt selle koha peal, kus juhe on kõige rohkem paindunud?

ÜLESANDED

1. Kui suure voolu võimsuse korral põleb läbi 10-amprine kaitse? Pinge vooluvõrgus on 220 V.
2. Pinge korteri elektrivõrgus on 220 V. Elektrivõrgu kaitse on ette nähtud voolutugevusele 15 A. Kas selles korteris saavad üheaegselt töötada 2,6 kW võimsusega pesumasin, 1200 W võimsusega tolmuimeja ja laevalgusti, milles on üks 100 W ja kaks 60 W võimsusega elektrilampi, nii et kaitse läbi ei põleks?
3. Pinge elektrivõrgus on 220 V. Ühe toa elektrivõrgu kaitse on ette nähtud voolutugevusele 10 A. Toas põleb 100 W võimsusega elektrilamp, töötab 800 W võimsusega elektriradiaator, 90 W võimsusega teler ja 150 W võimsusega videomagnetofon. Kui tööle pandi ka 1200 W võimsusega tolmuimeja, katkestas kaitse voolu. Millise elektritarviti väljalülitamisest piisaks, et jätkata ilma tolmuimejaga?
4. 1500 meetri kaugusel elektrivõrgu jaotuspunktist asub maja, mis on jaotuspunktiga ühendatud rauast elektrijuhtmetega. Ühe juhtmetraadi ristlõike pindala on 25 mm². Pinge faasi- ja nulljuhtme vahel on jaotuspunktis 230 V. Majas lülitatakse tööle elektripliit, mille passi on märgitud "220 V, 1500 W". Kui suur on pinge elektripliidi küttekeha klemmidel? Kui suur on voolu võimsus küttekehas ja mitu protsenti on see pliidi nimivõimsusest? (Takistuse sõltuvust temperatuurist mitte arvestada.)

PROBLEEM

1. Pärast umbes tund aega kestnud triikimist oli tunda plastmassi kõrbemise lõhna. Selgus, et pistikupesa, kuhu oli ühendatud triikraua ühendusjuhe, oli väga kuum. Selles pistikupesas oli varem olnud laualambi ühendusjuhe. Kui laualamp põles, kõrbelõhna tunda ei olnud. Miks kuumenes pistikupesa, kui sinna ühendati triikraud?

30. ELEKTRISEADMETE KAITSEMAANDAMINE

Miks elektriseadmed kaitsemaandatakse?

Vahelduvvool pingega 220 V on inimesele ohtlik. Tavaliselt võetakse arvutustes tänapäevase inimese keha elektritakistuseks 1000 Ω. Seega võib pinge 220 V tekitada inimese kehas voolu tugevusega üle 0,2 A. Inimesele eluohtlik on aga vool tugevusega 0,1 A.

Inimese kehas tekib elektrivool siis, kui inimene on üheaegselt kokkupuutes faasijuhtme ja nulljuhtmega või faasijuhtme ja Maaga. Elektrilöögi võib saada näiteks juhul, kui ühe käega puudutada rikkis elektriseadme pingestatud metallosa, teisega aga maandatud veekraani või keskkütteradiaatorit. Kuna nulljuhe on maandatud, siis pingestatud elektriseadme ja veetoru üheaegsel puudutamisel sulgub vooluring läbi inimese ning inimene saabki elektrilöögi. Vahelduvvoolu mõju inimesele soltub peale voolutugevuse väärtuse ka elektrivoolu kestusest inimese kehas, inimese tervislikust seisundist ja voolu kulgemise teekonnast kehas.

Joonis 30.1. Inimene saab elektrilöögi, kui on üheaegselt ühenduses faasi- ja

Joonis 30.2. Inimene saab elektrilöögi, kui on üheaegselt ühenduses faasijuhtme ja Maaga.

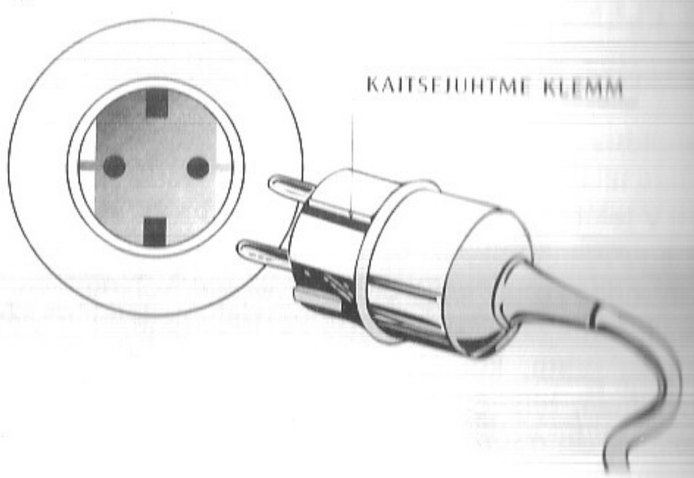
30.1. Millistel juhtudel võib inimene saada elektrilöögi?

30.2. Milleks on vajalik elektriseadmete kaitsemaandus?

Et elektriseadet oleks ohutum kasutada, ühendatakse elektriseadme metallkere või seadme välised metallosad kaitsejuhtme abil elektrikilbis oleva maanduslatiga. Maanduslatt on ühendatud nulljuhtme ja Maaga. Juhul, kui elektriseadme metallkere pingestub, tekib vooluring, mis koosneb faasijuhtmest, seadme metallkerest ja kaitsejuhtmest. Kuna nende juhtide takistus on väga väike, siis tekib lühisvool ja rakendub tööle kaitse, mis katkestab elektrivoolu.

30.3. Millega on ühendatud kaitsekontaktidega pistikupesa klemmid?

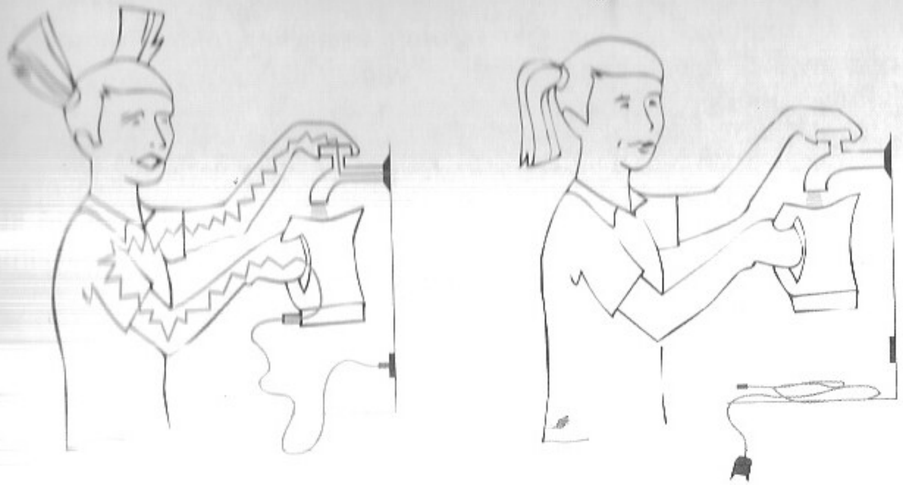
Kaitsejuhtme abil maanduslatiga ühendatud elektriseade on kaitsemaandatud. Kaitsemaandatud elektriseade ühendatakse elektrivõrku kaitsekontaktidega pistiku ja pistikupesa kaudu. Sellises pistikupesas on neli klemmi: üks klemm on ühendatud faasijuhtmega, teine nulljuhtmega ja pesa külgedel asuvad kaitsejuhtme klemmid maandusklatiga.



Joonis 30.3. Kaitsemaandusega pistikupesa ja pistik.

30.4. Miks ei rakendu kaitse, kui pingestub kaitsemaandusega elektriseadme metallkere?

Vaatleme kahe näite abil, kuidas elektriseadme kaitsemaandus suurendab seadme käsitsemise ohutust. Olgu näiteks elektripliit kaitsemaandusega. Oletame, et faasijuhtme isolatsioonikiht on vigastatud ja see koht puutub vastu pliidi metallkeret. Selle tulemusena pliidi metallkere pingestub. Kuna kaitsemaandamata elektripliidi metallkerel puudub ühendus nulljuhtmega, siis vooluringis lühist ei teki. Pingestatud metallkerega elektripliit töötab nagu tavaliselt. Kui seda puudutab aga Maaga ühenduses olev inimene, tekib inimese kehas elektrivool, sest elektrivõrk on ühendatud Maaga. Isegi sel juhul ei pruugi kaitse tööle hakata. Voolutugevus juhtmetes ja inimese kehas ei ole nii suur, et kaitse rakenduks.



Kaitsemaandatud elektripliit on aga inimesele ohutu. Eelkirjeldatud rikke korral kulgeb elektrivool faasijuhtmest läbi pliidi metallkere ja kaitsejuhtme maanduslatini. Et maanduslatt ja nulljuhe on ühendatud, tekib vooluring, mille takistus on väga väike. Voolutugevus suureneb järsult ning kaitse rakendub tööle. Voolu katkemine annab elektripliidi kasutajale märku, et see ei ole korras ja vajab remonti.

Elektriseadmed, mille ühendusjuhtme pistikul on ainult kaks klemmi, pole kaitsemaandatud. Kui selline seade on metallkerega, on alati oht, et seadme kere võib olla pingestatud. Ühendusjuhtme väiksemgi isolatsioonirike võib seadme muuta eluohtlikuks, sest kaheklemmilise pistiku võib ju pistikupessa suruda nii, et kord on faasijuhtmega ühendatud pistiku üks, kord teine klemm. Enne kaitsemaandamata elektriseadme teise kohta paigaldamist, tuleb ohutuse eesmärgil pistik kindlasti pistikupesast välja tõmmata.

Joonis 30.4. Enne kaitsemaanduseta elektriseadme teisaldamist tuleb ühendusjuhtme pistik pesast välja tõmmata.

30.5. Miks kaitse rakendub, kui pingestub kaitsemaandusega elektriseadme metallkere?

30.6. Miks on ohtlikud elektriseadmed, mille ühendusjuhtme pistik on kahe klemmiga?

KOKKUVÕTE

Korteri elektrivõrgus on vahelduvvool. Kõik kohtkindlad elektriseadmed ja pistikupesad on elektrivõrgus ühendatud rööbiti. Pinge kohtkindlate elektriseadmete ja pistikupesa klemmidel on 220 V.

Elektrivõrgu nulljuhe on maandatud. Pinge nulljuhtme ja maa vahel puudub. Elektrivõrgu faasijuhe ei ole maandatud. Pinge faasijuhtme ja maa vahel on 220 V. Faasijuhtme ja nulljuhtme määramiseks kasutatakse pingeindikaatorit.

- **Lühiseks** nimetatakse vooluringi osa otste ühendust juhiga, mille takistus on selle osa tavalise takistusega võrreldes väga väike. Kui vooluringis on lühis, suureneb voolutugevus selles järsult.

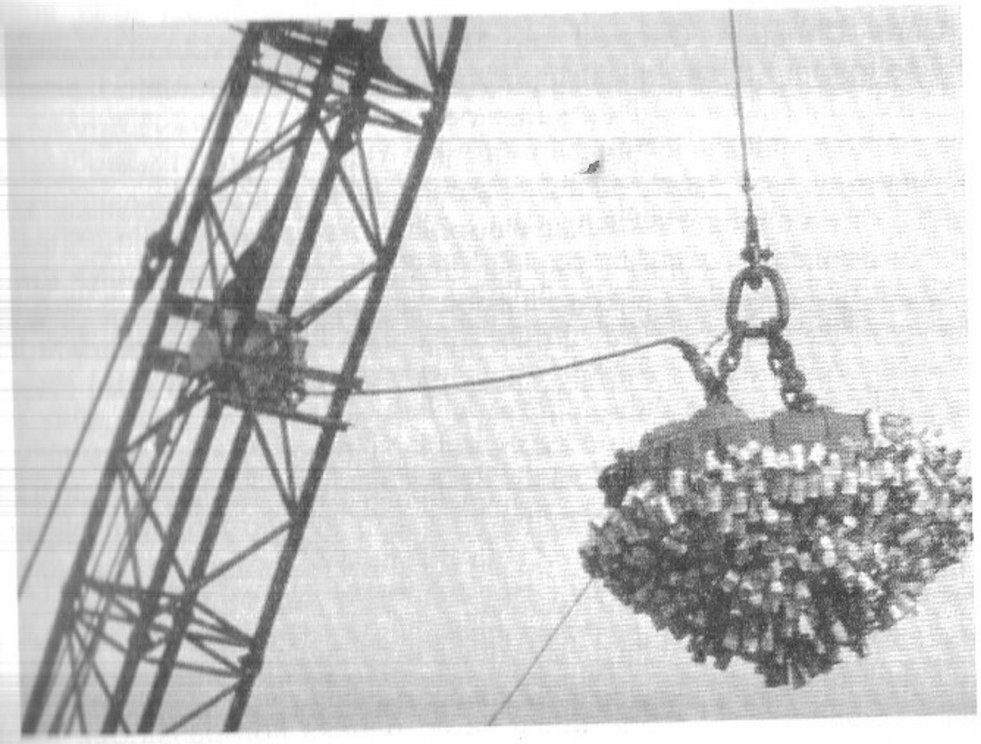
- **Kaitsme** ülesandeks on katkestada elektrivool, kui vooluringis tekib lühis. Kaitse paigaldatakse elektrivõrgus faasijuhtmesse. Sulavkaitse on kergesti sulavast materjalist juht, mis on arvestatud teatud kindlale maksimaalsele voolutugevusele.

- **Inimene võib saada elektrilöögi**, kui on üheaegselt kokkupuutes faasijuhtme ja nulljuhtmega või faasijuhtme ja Maaga.

- **Kaitsemaandamine** on elektriseadme metallkorpuse ühendamine kaitse-juhtme abil elektrikilbis oleva maanduslatiga. Elektriseadme korpus kaitse-maandatakse selleks, et korpuse pingestumisel hakkaks tööle kaitse, mis kaitstakse inimest rikkis elektriseadmelt saadava võimaliku elektrilöögi eest.

MAGNETNÄHTUSED

6 PEATÜKK



Kindlasti oled hoidnud käes raudesemeid, mis tõmbavad enda külge teisi raudesemeid. Näiteks kääride otsad võivad tõmmata õmblusnõelu või pisemad kruvid jääda kinni kruvikeeraja otsa külge. Kirjeldatud juhtudel on tegemist magnetnähtustega.

Esmakordselt vaadeldi magnetnähtusi 5. sajandil e. m. a. Magnesia linna lähedalt (praegune Türgi linn Manisa) leiti kivisid, mis tõmbusid üksteise poole. Leiukoha järgi hakati neid kive nimetama magnetiteks. Kes ja kuidas selle nähtuse avastas, pole teada. Samuti ei ole vanaajast midagi teada ka magnetnähtuste uurimisest.

13. sajandil uuris magnetnähtusi prantslane Pierre de Maricourt (ladina-päraselt Petrus Peregrinus). Ta avastas, et igal magnetmaagi tükil on kaks kohta, kus magnetiline mõju on eriti suur. Ülesriputatud maagitükk pöördub alati nii, et üks neist kohtadest on suunatud põhja-, teine lõunasuunas. Kui lähendada teineteisele maagitükkide põhja suunatud otsad, siis need tõukuvad. Magnetite põhja ja lõunasse suunatud otsad aga tõmbuvad. Peregrinus avastas, et suvaline rauatükk võib magnetmaagiga kokkupuutel ka ise magnetiks muutuda. Kui aga magnet poolitada, on kummalgi tükil jälle samasugused omadused nagu esialgsel magnetil.

Peregrinus avastas magnetismi põhitõed. Tema poolt algatatu ei leidnud aga järgijaid, sest tolle aja teadlased suhtusid katsetesse põlglikult.

Magnetnähtuste teadusliku uurimise algust seostatakse inglise teadlase William Gilbertiga. Aastal 1600 ilmunud raamatus "De Magnete" ("Magnetist") kirjeldas ta magnetnähtuste uurimisel tehtud 600 katset. Raamatus on esitatud kokkuvõte kõigest sellest, mis tol ajal magnetnähtustest üldse teati.

Magnetnähtuste laialdane uurimine algas aga alles pärast seda, kui taani füüsik Hans Christian Oersted oli 1820. aastal avastanud elektrivoolu magnetilise toime. Kui seni elektri- ja magnetnähtusi ei seostatud, siis pärast Oerstedi avastust hakati neid koos uurima.

Suure panuse elektri- ja magnetnähtuste uurimisse andis inglise füüsik Michael Faraday, kes 1831. aastal avastas elektromagnetilise induktsiooni nähtuse ja võttis esimesena kasutusele mõiste *magnetväli*. Paljude füüsikute avastuste krooniks sai aga klassikalise elektromagnetvälja teooria loomine inglise füüsiku James Clerk Maxwelli poolt 19. sajandi keskel.

Selles peatükis tuleb juttu ainult väikesest osast magnetnähtustest. Vaatluse alla on võetud ka mõned seadmed, mis on loodud tänu elektri- ja magnetnähtuste tundmaõppimisele.

31. PÜSIMAGNET

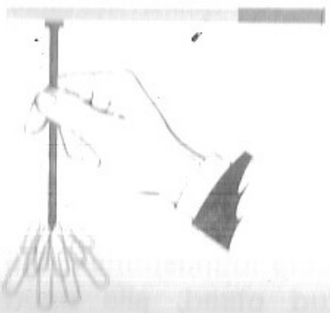
- **Millist keha nimetatakse püsimagnetiks?**
- **Kuidas kaks magnetit teineteist vastastikku mõjutavad?**

31.1. Milliste omadustega keha nimetatakse magnetiks?

31.2. Mis juhtub raudesemega, kui see puutub kokku magnetiga?

Mõni rauast keha, näiteks kompassinõel, tõmbab enda poole teisi rauast esemeid: nõelu, kirjaklambreid, raualaaste jm. Kui kompassinõel üles riputada või teravikul tasakaalustada, pöördub see ühe otsaga põhja-, teisega lõunasuunas. Selliste omadustega keha nimetatakse **magnetiks**.

Tavaliselt raudnael teisi rauast esemeid külge ei tõmba. Kui aga viia nael kokkupuutesse magnetiga, tõmbuvad naela teise otsa külge raudesemed (joonis 31.1). Magnetiga kokkupuutuval naelal ilmnevad samasugused omadused nagu magnetil. Öeldakse, et kokkupuutel magnetiga rauast või terasest keha magneetub. Mõnel magneetunud raudesemel võivad magneti omadused säiluda ka pärast magneti eemaldamist. Selliseid kehasid nimetatakse **püsimagnetiteks**.



Joonis 31.1. Kokkupuutel magnetiga raudnael magneetub ja tõmbab külge raudesemeid.

Teatud juhtudel võib püsimagnet oma omadused kaotada ehk demagneetuda. Püsimagnet võib demagneetuda näiteks siis, kui seda tugevasti koputada või kõrge temperatuurini kuumutada.

Püsimagneteid valmistatakse spetsiaalsetest tolleassortidest ja mitmesugustest sulamitest. Sulamites kasutatakse nii magnetilisi metalle – rauda, koobaltit ja niklit – kui ka metalle, millel magnetomadused puuduvad – alumiiniumi, magneesiumi, titaani jt. Sulamitele antakse nimi tavaliselt nende koostise järgi. Näiteks sulam alsifer koosneb alumiiniumist (Al), ränist (Si) ja rauast (Fe). Tänapäeval kasutatakse raadiotehnikas, elektroonikas, arvutustehnikas jm. väga palju mittemetallilisi magnetmaterjale – ferriite. Ferriidid koosnevad tavaliselt raud(II)oksiidist, millele on lisatud mingi kahevalentse metalli ioone (tavaliselt Ni^{2+} või Mn^{2+} või Co^{2+} või Zn^{2+}).

31.3. Mis võib põhjustada magneti demagneetumise?

Kui asetada vardakujuline püsimagnet karpi, milles on rauatüki viilmed, ja siis magnet karbist ühtesti välja võtta, katab selle otsi tihe rauapurust "habe" (joonis 31.2). Magneti keskmine osa on aga rauapurust puhas. Seega, magneti mõju raudesemetele ilmneb magneti otstes, magneti keskmises osas see puudub. **Magneti kohti, kus tema mõju raudesemetele on kõige suurem, nimetatakse magneti poolusteks.** Poolused asuvad magneti otstes. Magneti seda osa, kus magnetmõju puudub, nimetatakse **magneti neutraalseks piirkonnaks**.

31.4. Mida nimetatakse magneti pooluseks, mida magneti neutraalseks piirkonnaks?

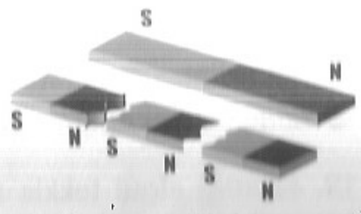
Joonis 31.2. Rauapuru tõmbub magneti otste külge.

Horisontaalselt rippuv sirgmagnet pöördub alati ühe otsaga põhja-, teisega lõunasuunas. Poolust, mis pöördub põhja poole, nimetatakse **magneti põhjapooluseks** ja tähistatakse tähega **N**. Lõuna poole pöördunud poolust nimetatakse **magneti lõunapooluseks** ja tähistatakse tähega **S**. Et püsimagneti poolusi oleks lihtsam eristada, värvitakse põhjapoolus tavaliselt siniseks või mustaks, lõunapoolus aga punaseks.

31.5. Millist magneti poolust nimetatakse põhja-, millist lõunapooluseks?

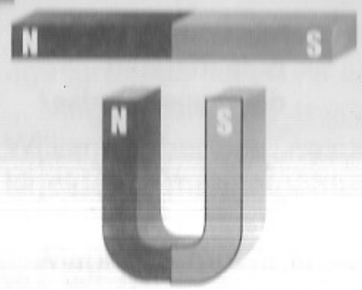
Igal magnetil on alati paarisarv poolusi. Tavaliselt on neid kaks. Mõnel eriliseks otstarbeks valmistatud magnetil võib olla ka neli, kuus või rohkem poolust. Kui püsimagnet lõigata või murda tükkideks, on igal tükil ikka kaks poolust (joonis 31.3). Siiani ei ole leitud ega suudetud teha ühtegi magnetit, millel oleks ainult üks poolus.

31.6. Mitu poolust on magnetil?



Joonis 31.3. Kui magnet murda tükkideks, on igal tükil ikkagi kaks poolust.

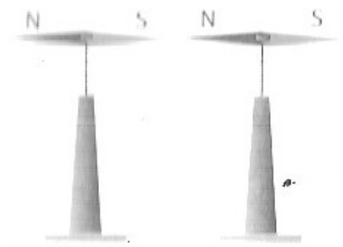
Püsimagnetid võivad olla väga erineva kujuga. Põhiliselt kasutatakse I-kujulisi, U-kujulisi, kettaning rõngakujulisi magneteid. I-kujulisi magneteid



Joonis 31.4. Sirgmagnet ja U-magnet.

31.7. Millist püsimagnetit nimetatakse magnetnõelaks?

31.8. Kuidas mõjutavad kaks magnetit teineteist?



Joonis 31.5. Magnetite vastastikmõju.

nimetatakse sirg- ehk varbmagnetiteks, U-kujulisi aga hoburaud- ehk U-magnetiteks (joonis 31.4).

Magneti pooluste ja neutraalse osa mõõtmed sõltuvad magneti kujust. Peenikesel ja pikal sirgmagnetil on pooluste piirkonnad lühikesed. Selliseid püsimagneteid kutsutakse **magnetnõelteks** ja neid kasutatakse kompassides.

Kaks magnetit mõjutavad teineteist alati vastastikku. Kui sirgmagneti põhjapoolus lähendada teravikule paigutatud magnetnõelale, tõukub viimase põhjapoolus sirgmagneti põhjapoolusest eemale, nõela lõunapoolus aga tõmbub sirgmagneti põhjapooluse poole. Samuti käituvad kaks teineteisele lähendatud magnetnõela, s.t. vastakuti jäävad nende erinimelised poolused (joonis 31.5). **Magnetite erinimelised poolused tõmbuvad, samanimelised poolused tõukuvad.** Magnestumata raudesemeid tõmbavad aga magneti mõlemad poolused.

1. Terasvarda üks ots tõmbub nii magneti põhja- kui ka lõunapooluse poole. Kas terasvarras on magneeditud?
2. Varbmagneti keskmises osas on neutraalne piirkond, kus magnetomadused puuduvad. Varbmagnet murti pooleks. Kas kummagi tüki murdekohtadel on magnetilised omadused?
3. Ühel varbmagnetil on poolused märgistatud, teisel märgistamata. Kuidas teha kindlaks teise magneti poolused?
4. Kaks ühesugust kõrvuti olevat õmblusnõela pannakse otsapidi varbmagneti ühe pooluse vastu. Mis asendi võtavad nõelad pärast käe eemaldamist?
5. On kaks täpselt ühesuguse välimusega raudvarrast. Üks neist on magneeditud, teine mitte. Kuidas teha muid vahendeid kasutamata kindlaks, kumb neist on magneeditud?

32. VOOLU MAGNETILINE TOIME. OERSTEDI KATSE

➲ **Milles seisneb Oerstedi katse?**

➲ **Mida väidab Ampère'i hüpotees?**

19. sajandi algul tekkis arvamus, et elektri- ja magnetnähtused võivad olla omavahel seotud. Võib arvata, et mingi tõuke selleks andsid ka mitmed tähelepanekud välguga kaasnenud kummalistest nähtustest. Ühel sõjalaeval olevat välgulöögi tagajärjel kompasside magnetnõelad hakanud näitama igasüks eri suunas. Teisal muutnud majja löönud välk selles olnud terasesemed magnetiteks. Kuna teil ajal juba teati, et välk on lühiajaline elektrivool, siis võis just elekter olla "süüdi" kompasside magnetnõelte kummalises käitumises ja majas olnud terasesemete magneetumises.

Elektri- ja magnetnähtuste seose avastas 15. veebruaril 1820. aastal taani füüsik Hans Christian Oersted (1777–1851). On teada, et see avastus tehti juhuslikult. Tolle päeva füüsika loengus näitas Oersted katset juhi soojenemisest voolu toimel. Taual katsevahendite läheduses oli ka magnetnõel. Keegi tähelepanelik üliõpilane olevat juhtinud professori tähelepanu magnetnõelale, mis pöördus ja püsis uues asendis seni, kuni juhtmes oli vool.

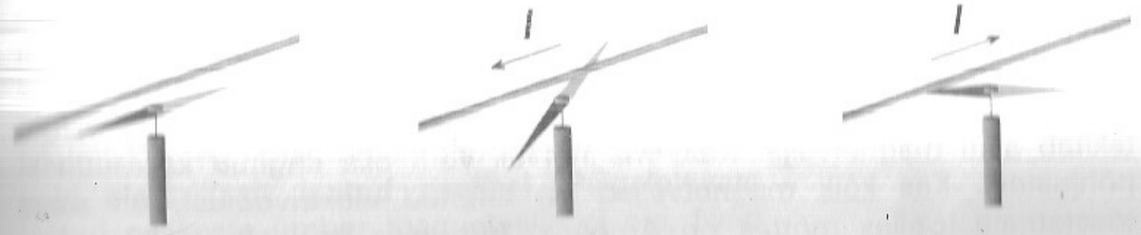
Oersted taipas, et on avastuse lävel ning alustas uuringutega. Juba sama aasta augustis avaldaski ta oma töö tulemused. Tema avastus tekitas füüsikute hulgas sensatsiooni ning mitmed füüsikud asusid uurima elektrivoolu ja magnetnähtuste seost. Mõne järgneva aasta jooksul tehti ridamisi teaduslikke avastusi ning astuti ka esimesi samme praktiliste rakenduste väljatöötamisel. Leiutati galvanomeeter, elektromagnet, avastati elektrimootori tööprintsiip jne.

Oerstedi katse on järgmine. Teravikule asetatud magnetnõela kohale on paigutatud magnetnõelaga paralleelne juhe. Kui ühendada juhe vooluallikaga, tekib selles elektrivool ning samal hetkel pöördub juhtme all olev magnetnõel (joonis 32.1). Voolu katkestamisel läheb magnetnõel tagasi oma esialgsesse asendisse. Kui voolu suunda juhtmes muuta, pöördub ka magnetnõela põhjapoolus teisele poole. Järelikult, vooluga juhet ümbritsevas ruumis mõjuvad magnetnõelale jõud, mis pööravad nõela. Samasugused jõud mõjuvad magnet-

32.1. Kes avastas elektri- ja magnetnähtuste seose?

Hans Christian Oersted

32.2. Milles seisneb Oerstedi katse?



Joonis 32.1. Magnetnõel pöördub, kui juhtmes on elektrivool.

nõelale ka püsimagneti pooluste läheduses. Vooluga juhe käitub seega sarnaselt püsimagnetiga.

Oersted ei seletanud oma katse tulemusi. Mitmed füüsikud olid arvamusel, et voolu mõjul muutub juhe magnetiks. Selline mõtteviis tundus loomulikuna, sest püsimagnetid olid tuntud, neid oli uuritud juba pikka aega.

32.3. Kuidas seletas Ampère magnetnähtuste olemust?

Sootuks teisel arvamusel oli prantsuse füüsik André Marie Ampère. Juba mõni nädal pärast Oerstedi katse tulemuste avaldamist, esitas ta katse seletuseks oma hüpoteesi. Tema arvates ei muutu juhe elektrivoolu toimel magnetiks, vaid hoopis vastupidi – magnetnähtused on põhjustatud elektrivoolust.

Ampère'i hüpoteesi kohaselt on püsimagnetite omadused põhjustatud ringikujulistest elektrivooludest magnetite sees. Magneetunud rauatükis on ringvoolud korrastatud, nad asuvad paralleelsetes tasandites ja on samasuunalised. Paljude ringvoolude magnetmõjud liituvad ning moodustavad kogu rauatüki magnetmõju. Magneetumata rauatükis aga pole ringvoolud korrastatud ning nende tasandid paiknevad kaootiliselt.

32.4. Kuidas seletatakse tänapäeval raua magneetumist?

Tänapäeval on teada, et aine magnetilisi omadusi põhjustavad paljudel juhtudel tõesti aines kulgevad ringvoolud. Püsimagneti korral see aga paraku nii ei ole. Püsimagneti magnetomadused on põhjustatud aine aatomite koosseisu kuuluvate elektronide omamagnetväljadest.

Igal elektronil on elektrilaeng. Seetõttu ümbritseb elektroni alati elektriväli. Elektriväli kuulub elektroni juurde, seda ei saa temalt ära võtta. Kuid elektronile on kõigis nähtustes omane ka magnetväli. Kui elektronide magnetväljadel rauatükis ei ole eelistatud suunda, siis rauatükil magnetväli puudub, s.t. rauatükk ei ole magneetunud. Kui aga elektronide omamagnetväljad on välise magnetvälja poolt korrastatud, on rauatükk magneetunud. Elektronide magnetväljade korrastatus võib säiluda aines ka pärast välise mõju kadumist. Selline rauatükk ongi püsimagnet. Mis on aga elektroni omamagnetvälja põhjuseks, ei ole teadlastele tänaseni lõplikult selge.

Ampère'i hüpotees on leidnud veenva kinnituse selles mõttes, et elektrivool tekitab alati magnetvälja. Kuid magnetväli võib olla tingitud ka muudest põhjustest. Kas kõik magnetväljad on tingitud elektrivoolust, on siiani tõestamata. Selles mõttes on Ampère'i hüpotees veel tänagi hüpotees. Lõpliku tõestuse saaks see alles siis, kui õnnestuks näidata, et ka osakeste omamagnetväljad on mingil viisil põhjustatud elektrivoolust.

Ampère esitas oma hüpoteesi 18. septembril 1820. a. Juba nädal hiljem, 25. septembril, demonstreeris ta selle kinnituseks katseid. Ta näitas, et vooluga pool mõjutab magnetnõela samuti nagu sirgmagnet. Kui vooluga pooli üks ots tõmbab magnetnõela põhjapoolust, siis magnetnõela lõunapoolust seesama ots tõukab. Ülesriputatud pool, milles on elektrivool, pöördub sarnaselt magnetnõelaga ühe otsaga põhja- teisega lõunasuunas. Ja lõpuks, kaks ülesriputatud pooli, milles on elektrivool, tõmbuvad või tõukuvad sarnaselt kahe magnetnõelaga. Kas vooluga poolid tõmbuvad või tõukuvad, selgub voolu suunast poolides.

1. Kirjelda taani füüsiku H. Ch. Oerstedi avastust.
2. Kas kompassi abil saab teha kindlaks elektrivoolu olemasolu juhtmes?
3. Miku näitas Mannile katset. Ta paigutas kompassi kohale paralleelselt magnetnõelaga juhtme, mille otsad ühendas aku klemmidega. Kompassi magnetnõel pöördus. Mann kordas katset oma kompassiga. Tema kompassi magnetnõel pöördus teisele poole. Miks?
4. Kaks teineteisega kõrvuti olevat sirgjuhet paigutati magnetnõela kohale paralleelselt magnetnõelaga. Kummaski juhtmes tekitati sama tugevusega, kuid vastassuunaline elektrivool. Kuidas käitus magnetnõel?
5. Peenikeste juhtmete otsas rippuv pool ühendati vooluallikaga. Kui pärast seda pooli ühele otsale lähendati varbmagneti poolus, tõmbus pool magneti poole. Miks?

33. MAGNETVÄLI. MAGNETVÄLJA JÕUJOONED

- **Kus esineb magnetväli?**
- **Miks kujutatatakse magnetvälju graafiliselt jõujoonte abil?**
- **Millise kujuga on vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooned?**

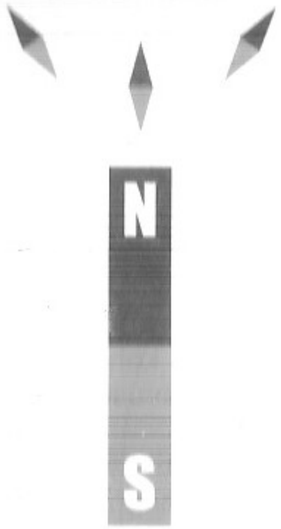
33.1. Kus esineb magnetväli?

Oersted ja Ampère ei seletanud, mil viisil vooluga juhe ja püsimagnet mõjutavad magnetnõela. Alles aastaid hiljem jõuti arusaamisele, et vooluga juhtme ja püsimagneti mõju magnetnõelale vahendab **magnetväli**.

Magnetväli ümbritseb vooluga juhte ja püsimagneteid. Et iga vooluga juhi ümber on alati magnetväli, siis öeldakse, et elektrivool ja magnetväli on teineteisest lahutamatud. Teatavasti kujutab elektrivool endast laetud osakeste suunatud liikumist. Seega **magnetväli ümbritseb kõiki liikuvaid elektriliselt laetud osakesi**. Paigalolevate laetud osakeste ümber magnetvälja ei ole. Neid ümbritseb ainult elektriväli. Liikuvaid laetud osakesi ümbritseb aga nii elektri- kui ka magnetväli.

33.2. Kuidas saab kindlaks teha magnetvälja olemasolu?

33.3. Miks magnetnõel magnetväljas orienteerub?



Joonis 33.1. Magnetnõelad võtavad magnetväljas kindla asendi.

33.4. Milline on magnetjõu suund?

33.5. Miks kujutatakse magnetvälju graafiliselt jõujoonte abil?

Joonis 33.2. Magnetjõud (tähistatud noolekesega) on suunatud piki magnetnõela lõunapooluselt põhjapoolusele.

33.6. Mida nimetatakse magnetvälja jõujooneks?

Inimene oma meeleorganitega magnetvälja ei tunneta. Magnetväli ei avalda mõju ka näiteks puidust, kummist ja plastmassist kehadele. Et teha kindlaks magnetvälja olemasolu või seda uurida, tuleb kasutada vahendeid, mis reageerivad magnetväljale.

Magnetvälja olemasolu saab kindlaks teha teravikul tasakaalustatud magnetnõelaga, mis pöördub magnetväljas teatud kindlasse asendisse. Näiteks sirgmagneti põhjapooluse lähedale paigutatud magnetnõelad pöörduvad oma lõunapoolustega sirgmagneti põhjapooluse poole (joonis 33.1). Öeldakse, et magnetnõel orienteerub magnetväljas.

Magnetväljas mõjub kõikidele magnetilisest materjalist kehadele ja vooluga juhtidele **magnetjõud**. Kuna magnetnõela poolused on erinimelised, siis mõjub magnetvälja paigutatud magnetnõela ühele poolusele tõmbejõud, teisele aga tõukejõud. Kahe jõu koosmõjul pöördub teravikule asetatud magnetnõel asendisse, kus magnetjõud on suunatud piki magnetnõela telge. Magnetjõu suund on määratud kokkuleppeliselt. **Magnetjõud on suunatud magnetväljas orienteerunud magnetnõela lõunapooluselt põhjapoolusele** (joonis 33.2).

Sirgmagneti pooluse lähedusse paigutatud magnetnõelad pöörduvad küll ühe otsaga sirgmagneti poole, kuid kõigil neil on üksteise suhtes erinev asend (joonis 33.1). Katsetulemustest ilmneb, et magnetvälja erinevates punktides on magnetjõu suund erinev.

Et saada ettekujutust magnetjõu suunast magnetvälja erinevates punktides, on magnetvälju hakatud kujutama graafiliselt **magnetvälja jõujoonte** abil. Magnetvälja jõujooni tegelikkuses ei eksisteeri. Neid kujutletavaid jooni saab aga "nähtavaks teha" peenikese rauapuruga. Magnetväljas rauapuru tükikesed magneetuvad ja muutuvad pisikesteks magnetnõelteks, mis magnetväljas orienteerudes moodustavad jooni. Sealjuures asetub iga pisikese nõelakese telg magnetväljas mõjuva jõu sihis. **Jooni, mida mööda asetuvad magnetväljas väikeste magnetnõelte teljed, nimetatakse magnetvälja jõujoonteks.**

Vooluga sirgjuhet ümbritseva magnetvälja jõujooni võib vaadelda järgmise katse abil. Sileda-

pinnalise papitüki sisse tehtud august on pandud läbi jämedast traadist sirge juhe. Papitükk on paigutatud horisontaalselt, juhe aga vertikaalselt. Papitükile on raputatud rauapuru (joonis 33.3).

Kui ühendada juhtme otsad vooluallika klemmidega, tekib juhtmes elektrivool ja selle ümber magnetväli. Rauapuru paigutub vooluga sirgjuhtme ümber erineva raadiusega ringjoontena (joonis 33.4). Teatavasti ei ole ringjoonel algust ega lõppu. Ringjoon on kinnine kõverjoon. Seega, **vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooned on kinnised kõverjooned**. Magnetvälja jõujooned ei lõiku omavahel üheski punktis ja magnetvälja iga punkti läbib ainult üks jõujoon.

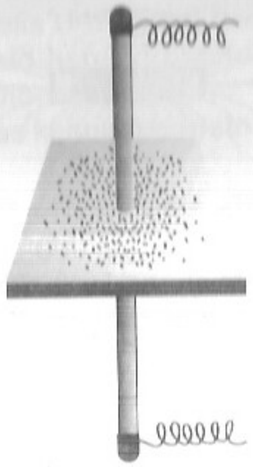
Vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooned on täpselt samasuguse kujuga ka siis, kui asetada papitükk juhtmel kas kõrgemale või madalamale. Katse võib teha isegi mingi teise sirgjuhtmega ja hoopis teises kohas. Ikka on vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooned samasuguse kujuga. Sellise kujuga jõujooned on omased igale vooluga sirgjuhet ümbritsevale magnetväljale.

Sirgmagneti magnetvälja jõujooned on teistsuguse kujuga (joonis 33.5). Kuid jällegi on kõigi sirgmagnetite magnetväljade jõujooned sarnase kujuga.

Sõltumata vooluga juhtme või püsimagneti kujust, on magnetvälja jõujoonte ühiseks tunnuseks see, et **magnetvälja jõujooned on alati kinnised kõverjooned**. Jõujoonte meetodi magnetväljade graafiliseks kujutamiseks töötas välja inglise füüsik M. Faraday.

Jõujoone suuna saab määrata magnetnõelte abil. Selleks tuleb rauapurust tekkinud joonele paigutada mõned magnetnõelad, mis orienteerunult näitavadki jõujoone suunda (joonis 33.5).

Joonisel 33.6 on kujutatud vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujoone. Jõujooned asuvad juhtmega ristuvas tasandis. Vaike ringike joonise keskel tähistab juhtme ristlõiget. Tapike ringi keskel aga näitab, et voolu suund juhtmes on vaatleja poole (raamatu lehest üles). Sellise voolu suuna korral on jõujoontele paigutatud magnetnõelad pöördunud põhjapoolustega kellaosuti liikumisele vastassuunas. Järelikult ka magnetvälja jõujoonte suund

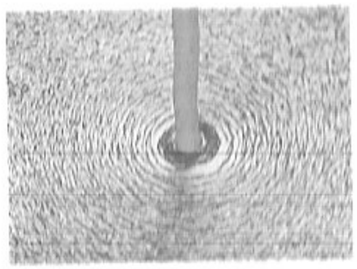


Joonis 33.3. Katseseade vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujoonte vaatlemiseks.

33.7. Millise kujuga on vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooned?

33.8. Mis on magnetvälja jõujoonte ühiseks tunnuseks?

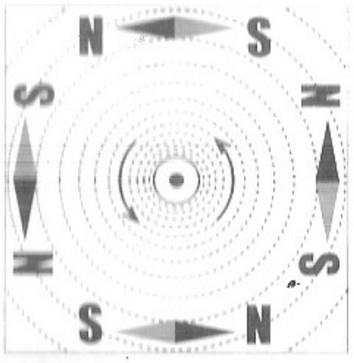
33.9. Kuidas määratakse magnetvälja jõujoone suund?



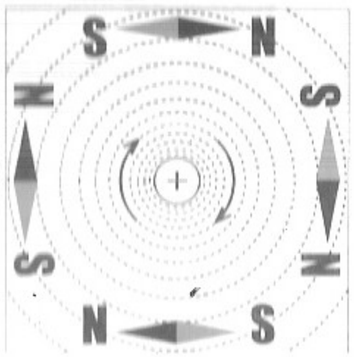
Joonis 33.4. Katse rauapuruga. Vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooned on ringjoonekujulised kinnised kõverad.

Joonis 33.5. Sirgmagneti jõujooned. Jõujoonte suuna saab määrata magnetnõelte abil.

33.10. Millest soltub vooluga sirgjuhtme magnetvälja joujoonte suund?



Joonis 33.6.

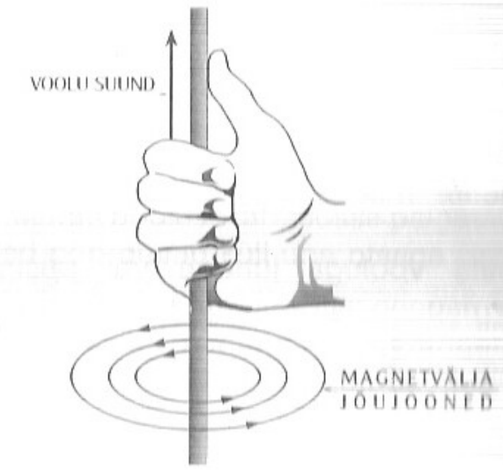


Joonis 33.7.

on vastupidine kellaosuti liikumise suunale. Jõujoonte suund on joonisel kujutatud kahe noolekese abil.

Joonisel 33.7 on voolu suund juhtmes eelnevaga vastupidine, seega vaatlejast eemale (raamatu lehe sisse). Voolu suund juhtmes on tähistatud ristikesega. Nüüd on ka magnetnõelad orienteerunud eelnevale vastupidiselt. Nende põhjapoolused on pöördunud kellaosuti liikumise suunas. Järelikult langeb joujoonte suund kokku kellaosuti liikumise suunaga. Katsetulemustest järeldub, et vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujoonte suund sõltub voolu suunast juhtmes.

Vooluga juhet ümbritseva magnetvälja jõujoonte suuna saab kindlaks määrata nn. "parema käe reegli" abil. **Kui parem käsi paigutada nii, et selle väljasirutatud pöial näitab elektrivoolu suunda juhtmes, siis köverdatud sõrmed näitavad magnetvälja jõujoonte suunda** (joonis 33.8).



Joonis 33.8. Magnetvälja jõujoonte suuna saab määrata "parema käe reegli" abil.

1. Miku elektriseeris klaaspulga. Kas laetud klaaspulka ümbritseb elektriväli ja magnetväli?
2. Mõtle välja katse või kirjelda juba tuntud katset, mille abil saab näidata, et magnetväli on seotud liikuvate elektriliselt laetud osakestega!
3. Selgita väljendit, "magnetnõel orienteerub magnetväljas".
4. Miks tekitatakse magnetvälja jõujooni rauapuruga?
5. Laual oli suur kuhi kirjaklambreid, kuhu Miku lükkas korraks U-magneti harud. Klambrid tõmbusid magneti harude külge ja moodustasid harusid ühendava "keti". Kas seda "ketti" võib vaadelda kui magnetvälja jõujoont?
6. Magnetnõela kohal, selle teljega risti asub sirgjuhe. Kuidas käitub magnetnõel, kui ühendada juhtme otsad vooluallikaga?
7. Niidi otsas rippuva kerge magnetnõela kõrval, sellega paralleelselt mõne millimeetri kaugusel asub sirge juhe. Juhtmes tekitatakse elektrivool. Kuidas käitub magnetnõel?
8. Alalisvooluallika poolused on märgistamata. Kuidas teha kindlaks pooluste märgid, kui selleks on kasutada magnetnõel, juhe ja niit?

34. VOOLUGA POOLI MAGNETVÄLI. ELEKTROMAGNET

Milline on vooluga pooli magnetväli?

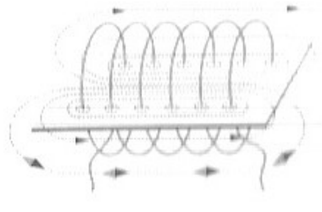
Mida nimetatakse elektromagnetiks ja kus elektromagneteid kasutatakse?

Vooluga pooli magnetväli. Paljudes elektriseadmetes kasutatakse magnetvälja tekitajana vooluga poole. Poolis on traat keritud tihedalt plast- või papptorule. Mähise otste ühendamisel vooluallikaga tekib poolis vool ja pooli ümber magnetväli.

Vaatleme vooluga pooli magnetvälja jõujooni. Siledapinnalisse plaati on tehtud kaks paralleelset augurida, millest on traat läbi tõmmatud (joonis 34.1). Sellisel viisil saadud pool on nii hõre, et võib näha magnetvälja jõujooni ka pooli sees. Kui horisontaalselt paigutatud plaadile raputada peenikest rauapuru ja tekitada poolis elektrivool, paigutub rauapuru piki vooluga pooli magnetvälja jõujooni.

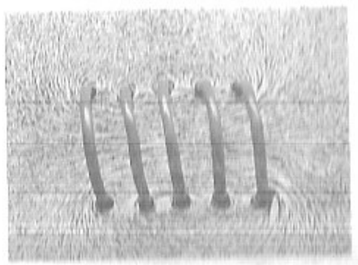
Juhul, kui pooli pikkus on oluliselt suurem pooli läbimõõdust, on magnetvälja jõujooned pooli sees paralleelsed (joonis 34.2). Pooli kummagi otsa juures jõujooned kõverduvad. Nad väljuvad pooli ühest otsast ja suubuvad teise. Seega võime öelda, et vooluga pooli magnetvälja jõujooned on kinnised kõverad (joonis 34.1).

Magnetvälja jõujoonte suuna saab määrata magnetnõelte abil, mis tuleb paigutada pooli lähedale. Pooli ühe otsa juures pöördub magnetnõel poole lõunapoolusega, teise otsa juures aga põhjapoolusega. Seega on vooluga pooli üks ots magnetiliseks põhjapooluseks, teine aga lõunapooluseks. Magnetvälja jõujooned väljuvad pooli



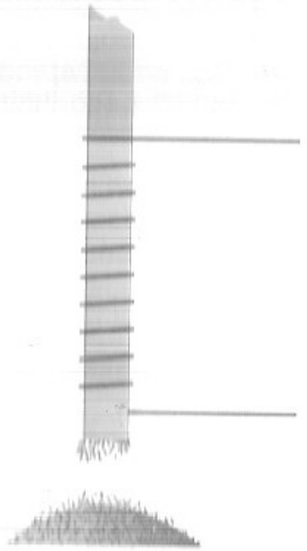
Joonis 34.1. Katseseade vooluga pooli magnetvälja jõujoonte vaatlemiseks. Vooluga pooli ühes otsas on magnetiline põhja-, teises lõunapoolus.

34.1. Millise kujuga on vooluga pooli magnetvälja jõujooned?



Joonis 34.2. Katse rauapuruga. Vooluga pooli sees on magnetvälja jõujooned paralleelsed.

34.2. Millest sõltub, kummas vooluga pooli otsas on magnetiline põhja-, kummas lõunapoolus?



Joonis 34.3. Raudsüdamikuta pool tõmbab enda külge ainult veidi rauapuru.

34.3. Miks vooluga pooli magnetväli tugevneb, kui pooli asetada raudsüdamik?

34.4. Mida nimetatakse elektromagnetiks ja millest sõltub selle magnetvälja tugevus?

34.5. Kus kasutatakse elektromagneteid?

otsast, mis on põhjapooluseks, ja suubuvad pooli otsas, mis on lõunapooluseks (joonis 34.1). Kui muuta voolu suund poolis vastupidiseks, pööruvad ka magnetnõelad 180° võrra. Kumb pooli ots on põhja-, kumb lõunapoolus, sõltub voolu suunast poolis.

Elektromagnet. Vooluga pooli magnetvälja saab tugevdada, kui paigutada pooli sisse raudsüdamik. Selles võib veenduda katse abil. Sobiva pooli saame, kui kerime pliiatsi ümber tihedasti mõni kümmend keerdu traati. Mähise otste ühendamisel taskulambipatareiga tekib poolis vool ja pooli ümber magnetväli. Kui lähendada vooluga pool rauapurule, tõmbab see külge vaid veidi rauapuru (joonis 34.3).

Vooluga pooli mõju rauapurule suureneb märgatavalt, kui paigutada pooli sisse raudnael. Raudsüdamikuga pool tõmbab nii palju rauapuru, et pooli otsa tekib suur ja kähar rauapurust "pintsel" (joonis 34.4). Raudsüdamikuga pooli mõju raudesemetele on suurem sellepärast, et vooluga pooli magnetväljas raudsüdamik magneetub. Kuna raudsüdamiku magnetväli on samasuunaline vooluga pooli magnetväljaga, siis ta tugevdab seda.

Raudsüdamikuga pooli nimetatakse elektromagnetiks. Sõltuvalt elektromagneti mähise otstele rakendatud pingest, võib voolutugevus mähises olla erinev. Muutes voolutugevust mähises, muutub ka elektromagneti magnetväli. Mida suurem on voolutugevus mähises, seda tugevam on elektromagneti magnetväli. Magnetvälja tugevus oleneb ka keerdude arvust pooli mähises. Elektromagneti magnetväli on seda tugevam, mida rohkem traadikeerde on poolis.

Elektromagnetil on püsimagnetiga võrreldes rida eeliseid: tema magnetvälja tugevust ja suunda saab muuta voolu tugevuse ja suuna muutmise teel, voolu väljalülitamisel kaob ka elektromagneti magnetväli.

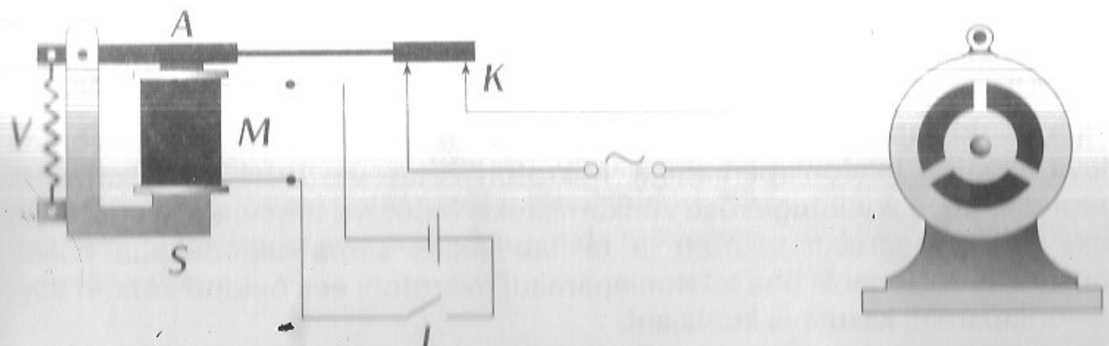
Elektromagneteid valmistatakse erineva kuju ja suurusega. Neid kasutatakse elektrimootorites ja elektrivoolugeneraatorites. Kuna elektromagnetiga võib tõsta väga suure massiga koormisi, kasutatakse elektromagneteid kraanades terasest ja malmist toodete, vanaraua jm. tõstmiseks ning ümberpaigutamiseks. Et elektromagneti magnetväli kaob pärast voolu katkestamist poolis, kasutatakse elektromagneteid telefonis, elektromagnetreleedes jne.

ELEKTROMAGNETRELEE

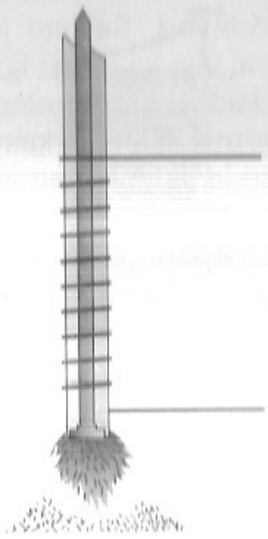
Suured elektrimootorid ja elektromagnetid asuvad sageli kohtades, kuhu inimesel on raske juurde pääseda. Sellised seadmed lülitatakse tööle tavaliselt juhtimispuldist. Kuna võimsates elektritarvitites on voolutugevus väga suur, siis tuleks tarvititest juhtimispuldini vedada jämedad juhtmed, mis võtavad palju ruumi, on rasked ja kohmakad ning millele kulub palju metalli.

Võimsate elektriseadmete elektrivorku lülitamiseks kasutatakse seadmel paiknevat elektromagnetreleed. Elektromagnetrelee pohilisteks osadeks on elektromagnet, raudplaadike ehk ankur töövooluringi lüliti kontaktidega ja vedru (joonis 34.5). Elektromagneti mähis M on läbi lüliti L ühendatud voolallikaga. Kui lüliti on suletud, on mähises elektrivool. Elektromagneti südamik S on magneetunud ning tõmmanud enda külge ankru A. Ankru küljes on isoleermaterjalist liistul töövooluringi lüliti liikuv kontakt K, mis suleb ja avab vooluringi, milles on tarviti (näiteks elektrimootor). Kui vool lüliti L abil elektromagneti mähises katkestada, demagneetub südamik S, vedru V tõmbab ankru südamikust eemale ja katkestab voolu ka tarviti vooluringis.

Voolutugevus elektromagneti mähises on palju väiksem kui elektrimootoris. Seetõttu võib elektromagnetrelee juhtimispuldis asuva lülitiga L ühendada peenikeste juhtmete abil, mis on kerged ja



Joonis 34.5. Elektromagnetrelee



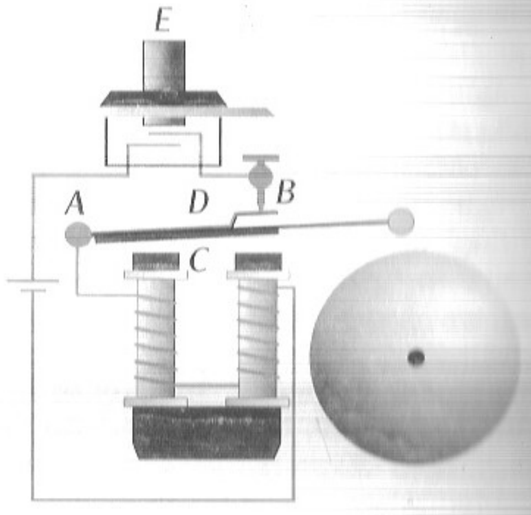
Joonis 34.4. Raudsüdamikuga pool tõmbab enda külge palju rauapuru.

34.6. Millistest osadest koosneb elektromagnetrelee ja kuidas ta töötab?

painduvad. Selliste juhtmete külge ühendatud juhtimispulti võib vajaduse korral viia ka ühest kohast teise.

Elektromagnetrelee töökontaktidega võib ühendada suvalise elektriseadme. Releed kasutatakse ka näiteks suurte saalide valgustussüsteemi sisse ja välja lülitamiseks. Ka releed ennast saab juhtida mingi teise seadme abil. Selleks võib olla näiteks kell. Kell lülitab relee ja koos sellega elektriseadme tööle just etteantud ajahetkel.

1. Kuidas muutuvad vooluga pooli magnetomadused, kui muuta voolu suund poolis vastupidiseks?
2. Milleks on elektromagneti poolis raudsüdamik?
3. On kaks ühesugust elektromagnetit. Ühe elektromagneti poolis on vooluga kaks korda suurem kui teises. Kumma elektromagneti magnetväljas on magnetjõud suurem?
4. Paljudes seadmetes eelistatakse elektromagnetit püsimagnetile. Miks?
5. Seleta, kuidas töötab elektrikõlisti (joonis 34.6).
6. Kas elektrikõlisti (joonis 34.6) töös muutub midagi, kui voolu suund kõlisti mähises muuta vastupidiseks? Põhjenda vastust.
7. Pärast voolu väljalülitamist ei eraldunud osa raualaaste kraana elektromagnetist. Mida peaks tegema kraanajuht, et elektromagnetist eralduksid kõik raualaastud?



Joonis 34.6. Elektrikõlisti.

35. MIKROFON JA TELEFON

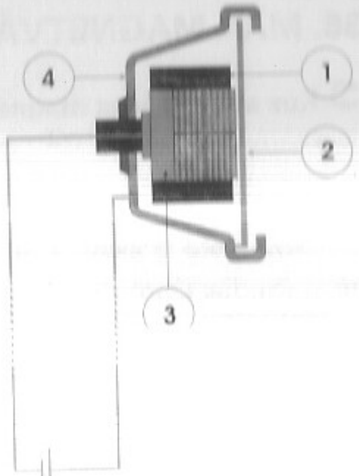
- Kuidas töötab mikrofon?
- Kuidas töötab telefon?

Iga telefoniaparaadis on mikrofon ja telefon. Telefonitoru otsas, millesse räägitakse, asub mikrofon. Toru teises otsas, mis pannakse kõrva juurde, on telefon. Sõna *mikrofon* tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *mikros* – väike ja *phōnē* – hääl. Sõna *telefon* tuleneb samuti kreeka keelest: *tēle* – kaugel, *phōnē* – hääl.

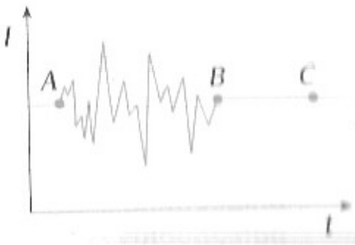
Iga telefoniaparaadi mikrofoni ja telefoni saab ühendada telefonivõrgus oleva suvalise telefoniaparaadiga. Mikrofon võtab vastu häälevõnkumisi ja muundab need voolutugevuse võnkumisteks. Muutuva tugevusega vool levib teise telefoniaparaadi telefoni ja tekitab selles sama sagedusega häälevõnkumisi. Nii jõuabki ühe telefoniaparaadi mikrofoni ees öeldud sõnum teist

Mikrofoni põhiosadeks (joonis 35.1) on söepuruga karbike *1*, mille kaaneks on õhuke elastne membraan *2*. Karbikeses on liikumatu elektrood *3*, mis on mikrofoni välisest kestast *4* elektriliselt isoleeritud. Mikrofon ja sellega ühendatud vooluallikas moodustavad vooluringi. Elektrivool kulgeb läbi mikrofoni välise kesta, membraani, söepuru ning liikumatu elektroodi. Voolutugevus selles vooluringis sõltub pingest vooluallika klemmidel ja vooluringi kogutakistusest.

Rääkimisel pannakse õhuosakesed võnkuma. Võnkumine levib mikrofoni membraanini ning paneb ka selle vonkuma. Võnkuv membraan pressib söepurule kord tugevamini, kord nõrgemini. Kuna söepuru elektritakistus sõltub sellest, kui tugevasti söepuru on kokku surutud, siis vastavalt membraani võnkumisele muutub ka söepuru takistus. Takistuse muutus põhjustab aga häälevõngetele vastavaid voolutugevuse muutusi mikrofoni vooluringis (joonisel 35.2 graafiku osa *AB*). Kui mikrofoni ees ei kõnelda, püsib membraan liikumatuna ja voolutugevus mikrofoni vooluringis on muutumatu (joonisel 35.2 graafiku osa *BC*).



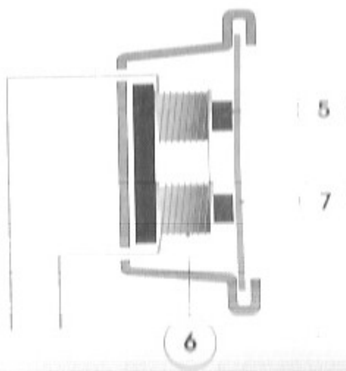
Joonis 35.1. Mikrofoni ehitus.



Joonis 35.2. Voolutugevuse sõltuvus ajast mikrofoni ja telefoni vooluringis.

Telefoniaparaadi mikrofonis tekitatud voolutugevuse muutused töödeldakse ja saadud signaal edastatakse teise telefoniaparaadi telefoni. Telefoni kestas (joonis 35.3) asub püsimagnet *5*, mille poolustele on paigutatud kaks peenikesest traadist pooli *6*. Magneti pooluste läheduses asub õhuke elastne terasmembraan *7*, mis on kaane abil tugevasti vastu telefoni kesta surutud. Membraani ja magneti pooluste vahel on õhupilu, mis võimaldab elastsel membraanil elektromagneti magnetväljas vabalt vonkuda.

Paramagnet tõmbab terasmembraani enda poole. Kui poolides on vool, mõjub membraanile ka elektromagneti magnetväli. Kuna voolutugevus telefoni elektromagnetis muutub vastavalt häälevõnkumistele mikrofoni ees, muutub samas taktis ka elektromagneti poolt tekitatud lisamagnetväli. Muutuva magnetvälja mõjul hakkab telefoni membraan võnkuma ja paneb võnkuma ka membraaniga kokkupuutuvad õhukihid. Nii kuulemegi telefonist just neid sõnu, mida mikrofoni ees räägitakse.



Joonis 35.3. Telefoni ehitus.

36. MAA MAGNETVÄLI

➲ **Kus asuvad Maa magnetpoolused?**

Kompassi hakati meresõitudel kasutama 11. sajandil. Arvatakse, et selle leiutasid araablased. Pikka aega usuti, et kompassinõela mõjutab Põhjanael.

36.1. Kuidas Gilbert avastas, et Maa on suur magnet?

16. sajandi lõpul kummutas selle müüdi William Gilbert, kes esimese teadlasena jõudis katsete abil järeldusele, et Maa on sarnane suurele magnetile. Juhindunud Peregrinuse ideedest, valmistas ta magnetrauast kera, nn. "väikese Maa" ehk *terella*. Katsetest selgus, et magnetrauast kera ja Maa mõju vabalt rippuvale magnetnõelale on sarnased. Järelikult, magnetomaduste seisukohalt erineb Maa vaadeldavast kerast ainult oma mõõtmete poolest. Maa on suur magnet. Tuginedes sellele järeldusele, selgitas Gilbert, miks magnetnõel pöördub maakera suvalises punktis alati teatud kindlas suunas. Gilbert on teadaolevalt esimene teadlane, kes võrdles loodusnähtust mudeli abil esilekutsutud nähtusega.

36.2. Kus asuvad Maa magnetiline põhjapoolus ja lõunapoolus?

Nagu kõiki magneteid, nii ka Maad ümbritseb magnetväli (joonis 36.1). Maa magnetväli on sarnane sirgmagneti magnetväljale (vt. joonis 33.5). Maakera põhjapoolkeral asub Maa magnetiline lõunapoolus. Maakera lõunapoolkeral asub aga Maa magnetiline põhjapoolus. Pooluste sellised nimetused on tingitud sellest, et juba enne Gilberti avastust nimetati magnetnõela põhjapooluseks poolust, mis pöördub põhja suunas. Et aga magnetilise vastasnimelised poolused tõmbuvad, tuligi Maa põhjapoolkeral paiknev magnetpoolus nimetada Maa magnetiliseks lõunapooluseks. Maa magnetvälja jõujooned väljuvad magnetilisest põhjapoolusest lõunapoolkeral ja suubuvad magnetilisse lõunapoolusesse põhjapoolkeral.

Joonis 36.1. Maa magnetväli on sarnane varbmagneti magnetväljale.

Kui hakata kompassi järgi minema põhjasuunas, võib jõuda küll Maa magnetilisele lõunapoolusele, kuid mitte Maa geograafilisele põhjapoolusele. Maa geograafiline poolus ja samal poolkeral asuv magnetpoolus ei kattu, nad asuvad eri kohtades. Maa magnetiline lõunapoolus asub geograafilisest põhjapoolusest umbes 2000 km kaugusel Kanada põhjaosas. Maa magnetiline põhjapoolus asub Antarktikas. Magnetpooluseid ühendav sirge ehk Maa magnettelg ei läbi Maa keskpunkti ja on seega lühem Maa diameetrist. Kuna Maa magnetpoolused ei ühti Maa geograafiliste poolustega, on maakeral erinevates kohtades kompassinõela kõrvalekalle meridiaanist erinev.

36.3. Miks ei ole kompassi magnetnõela telg suunatud piki meridiaani?

Maakeral esineb kohti, kus magnetnõel ei võta kindlat suunda. Neid alasid nimetatakse magnetilise anomaalia piirkondadeks (anomaalia tähendab kõrvalekaldumist, ebanormaalsust). Magnetiline anomaalia on tavaliselt põhjustatud maapinna lähedal peituvatest suurtest rauamaagilademetest.

Maa magnetväli kaitseb Maa elanikke kosmilise kiirguse, kosmosest tulevate suure energiaga laetud osakeste eest, mis mõjuvad elusorganismidele kahjulikult. Elektriliselt laetud osakeste liikumise suund Maa magnetväljas muutub ning suurem osa neist ei jõuagi maapinnani.

36.4. Mis põhjustab magnettorme?

Vaatluste abil on kindlaks tehtud, et ajapikku Maa magnetpooluste asukohad muutuvad. Need muutused on väga pikaajalised. Kõrvuti pikaajaliste muutustega toimuvad ka Maa magnetvälja lühiajalised muutused. Lühiajalist ja väga järsku Maa magnetvälja muutust nimetatakse magnettormideks. Magnettorm kestab tavaliselt 6 kuni 12 tundi. Parast seda taastub endine olukord. Magnettormide tekkimist seostatakse Päikese aktiivsuse suurenemisega. Sel ajal paiskub Päikese pinnalt maailmaruumi rohkem ja suurema energiaga elektrone ja prootoneid kui tavaliselt. Need osakesed mõjutavad Maa magnetvälja ja kutsuvadki esile magnettorme.

Põhjamaa taevas võib öösiti näha virmalisi.

Magnettormide esinemise sagedus ja intensiivsus on aastati erinev. Kuna Päikese aktiivsus suureneb ligikaudu iga 11,5 aasta tagant, siis kasvab samal ajal ka magnettormide arv. Magnettormide ajal võib paljude inimeste enesetunne halveneda.

Virmalised. Juba iidsetest aegadest on inimesed jälginud küllaltki harva esinevat, kuid väga kaunist loodusnähtust – virmalisi. Virmalisi võib näha põhiliselt polaaraladel, kuid neid on jälgitud isegi Vahemere ja Põhja-Aafrika piirkonnas. Virmalised tekivad 80–1000 km kõgusel Maa pinnast.

Pärimuste kohaselt on virmalised erinevatel rahvastel kutsunud esile hirmu "Jumala karistuse" ees või hoopis lootuse "taevalikule" abile. Vanad eestlased ennustasid virmaliste abil sodu, nälga, haigusi ja ka ilma muutust. Nad teadsid, et virmalised peegeldavad hea ja halva vaimu võitlust. Kuigi virmalisi on jälgitud aastasadade ja -tuhandete kestel, on selle imelise loodusnähtuse olemus selgunud alles käesoleva sajandi keskpaiku. Kuid veel tänapäevalgi ei suudeta virmaliste teket täielikult seletada.

Lihtsustatult seletatakse virmaliste teket järgmiselt. Päikese pinnalt paiskub maailmaruumi pidevalt elektrone ja prootoneid, millest osa jõuab ka Maa lähedusse. Need elektronid kutsuvadki esile virmaliste tekke. Päikeselt tulnud elektronid liiguvad väga suure kiirusega ja vastastikmõjus Maa magnetväljaga tungivad polaaraladel küllalt sügavale Maa atmosfääri. Laetud osakeste tungimine Maa atmosfääri just polaaraladel on tingitud Maa magnetvälja jõujoonte kujust.

Suure energiaga kiirelt liikuvad elektronid põrkuvad kõrgel atmosfääris lämmastiku ja hapniku aatomite ning molekulidega ja ioniseerivad või ergastavad neid oma energia arvel. Selle tulemusena hakkavad aatomid ja molekulid kiirgama valgust, mis ongi tuntud virmaliste valgusena. Kui öises taevas on näha virmalise helendavat linti, siis liigub seal seega terve laviin Päikeselt pärit elektrone. Tavaliselt on virmalised sinakat ja rohekat värvi, harvemini ka punakad.

PROBLEEME

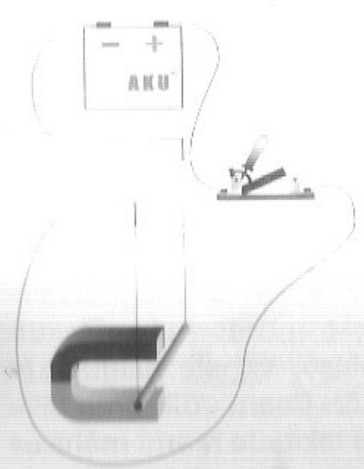
1. Millise asendi võtab magnetnõel Maa magnetpoolusel?
2. Maa magnetväljas raudesemed magneetuvad. Kus asuvad toas oleva raudahju või kütteradiaatori magnetiline põhja- ja lõunapoolus? Kontrolli oma oletust katseliselt!
3. J. Verne'i raamatus "Viieteistkümneaastane kapten" on kirjutatud, et Negoro pani laeva kompassi alla kirve. Selle tulemusena sõitis laev Vaikselt ookeanilt Ameerika asemel Aafrikasse. Kuidas on see võimalik?
4. Rauast ahjuroop võib magneetuda, kui koputada tugevasti selle ühe otsa pihta puuhaamri või puuhaluga. Kuidas tuleb ahjuroopi magneetimise ajal hoida, kas magnetnõela sihis või sellega risti? Kummasse ahjuroobi otsa tekib koputamisel põhja-, kummasse lõunapoolus? Kontrolli oma oletust katseliselt!

37. VOOLUGA JUHE MAGNETVÄLJAS. ALALISVOOLUMOOTOR

- **Millest sõltub magnetväljas vooluga juhtmele mõjuva jõu suund?**
- **Miks vooluga raam magnetväljas pöördub?**
- **Kuidas töötab alalisvoolumootor?**

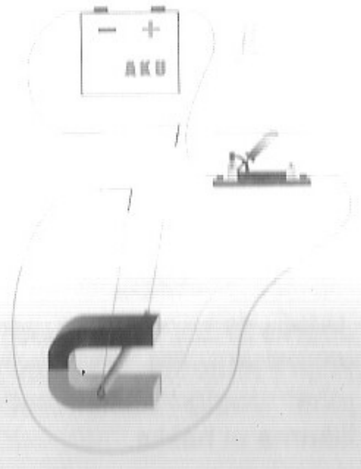
Eelnevates õppetükkides vaatlesime vooluga juhtme mõju püsimagnetile ja magneetumata raudesemetele. Selles õppetükis tuleb juttu püsimagneti mõjust vooluga juhtmele.

Paigutame U-magneti pooluste vahele peenikeste juhtmete otsas rippuva metallvarda (joonis 37.1). Kui tekitada vardas elektrivool, hakkab varras magneti harude vahel liikuma (joonis 37.2). Muutnud voolu suuna vardas



⇐

Joonis 37.1. U-magneti harude vahel ripub peenikeste juhtmete otsas metallvarras.



⇒

Joonis 37.2. Kui vardas tekitada vool, hakkab varras magneti harude vahel liikuma.

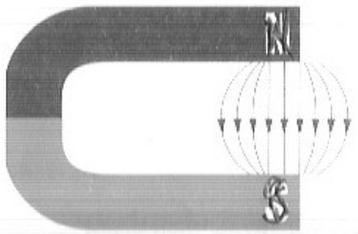
37.1. Millest järeldub, et magnetväljas mõjub vooluga juhtmele jõud?

37.2. Millise kujuga on magnetvälja jõujooned U-magneti pooluste vahel?

37.3. Kuidas on suunatud magnetväljas vooluga juhtmele mõjuv jõud?

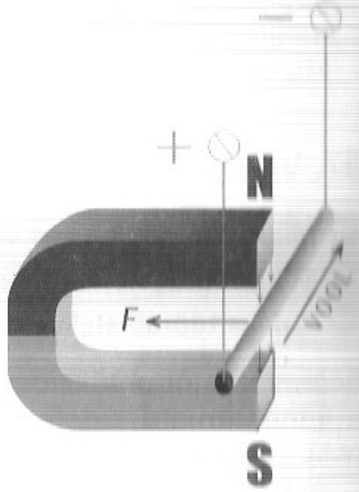
vastupidiseks, liigub ka varras vastassuunas. Väljaspool magneti mõjupiirkonda rippuv varras voolu tekitamisel liikuma ei hakka. Ka magneti harude vahel rippuv varras püsib liikumatuna siis, kui selles puudub elektrivool. Katsetulemustest ilmneb, et vooluga varda liikumise põhjuseks on magnetvälja ja vooluga juhtme vastastikmõju. Seega, magnetväljas mõjub vooluga juhtmele jõud.

U-magneti pooluste vahel on magnetvälja jõujooned üksteisega ligilähedaselt paralleelsed ja suunatud magneti põhjapooluselt lõunapoolusele (joonis 37.3). Jälgides varda liikumist selgub, et vooluga juhe liigub magnetväljas risti nii magnetvälja jõujoontega kui ka voolu suunaga juhtmes. Seega, magnetväljas vooluga sirgjuhtmele mõjuv jõud on oma suunalt risti magnetvälja jõujoontega ja voolu suunaga juhtmes (joonis 37.4).

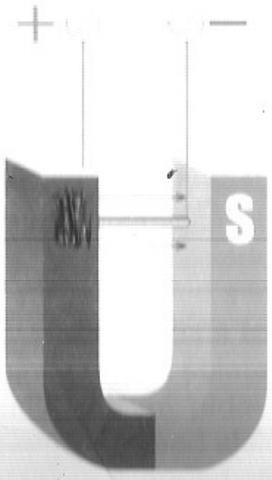


Joonis 37.3. Magnetvälja jõujooned on U-magneti pooluste vahel ligilähedaselt paralleelsed.

37.4. Millest sõltub magnetväljas vooluga juhtmele mõjuva jõu suund?



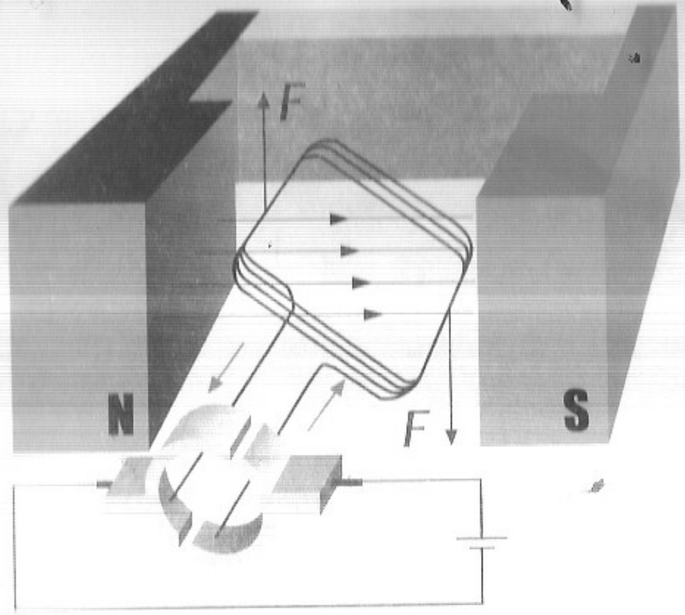
Joonis 37.4. Magnetväljas vooluga juhtmele mõjuv jõud on risti magnetvälja jõujoontega ja voolu suunaga juhtmes.



Joonis 37.5. Piki magnetvälja jõujooni paiknev juhe voolu tekitamisel

Sõltuvalt voolu suunast liigub varras magneti pooluste vahel kord ühele, kord teisele poole. Järelikult sõltub magnetväljas vooluga juhtmele mõjuva jõu suund voolu suunast magnetvälja jõujoonte suhtes. Kui paigutada varras aga magneti pooluste vahele piki magnetvälja jõujooni, siis voolu sisselülitamisel varras liikuma ei hakka (joonis 37.5). Piki magnetvälja jõujooni paiknevale vooluga juhtmele magnetväljas jõud ei mõju.

Elektrimootor. Vooluga juhtme ja magnetvälja vastastikmõjul põhineb elektrimootori töö. Elektrimootoris on magneti pooluste vahele paigutatud mähisega raam (joonis 37.6). Raam võib oma telje ümber vabalt pöörelda. Kui tekitada raamis mähises



Joonis 37.6. Elektrimootoris on magneti pooluste vahele paigutatud mähisega raam, mis hakkab pöörlema, kui mähises tekitatakse elektrivool. Elektrivool juhitakse mähisesse läbi poolrõngaste vastu surutud harjade.

elektrivool, siis raam pöördub. Kuna mähise vastaskülgedes on elektrivool vastassuunaline, siis mõjuvad raami vastaskülgedele ka vastassuunalised jõud. Nende jõudude mõjul raam pöördubki.

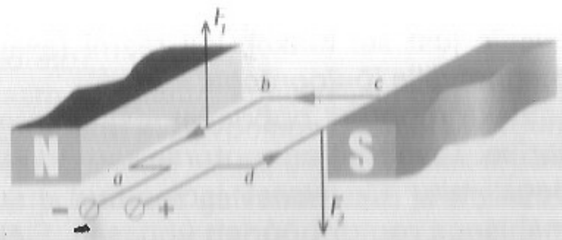
Elektrimootoris pannakse mähisega raam pöörlema. Selleks muudetakse voolu suunda raami mähises iga poole pöörde järel. Raam hakkab pöörlema aga ainult siis, kui muuta voolu suunda mähises just sel hetkel, mil raami tasapind on risti magnetvälja jõujoontega. Sel juhul muutub ka raami vastaskülgedele mõjuvate jõudude suund ning raam pöördub edasi.

Joonisel 37.7 on lihtsuse mõttes kujutatud vooluga raami asemel ainult ühte juhtmekeerdu *abcd*, mis asub magneti pooluste vahel ja võib oma telje ümber vabalt pöörelda. Voolu suund juhtmekeerus on tähistatud noolekestega. Kuna juhtmekeeru vastaskülgedes *ab* ja *cd* on elektrivool vastassuunaline, siis on vastassuunalised ka külgedele mõjuvad jõud F_1 ja F_2. Juhtmekeeru küljed *bc* ja *da* asuvad magnetvälja jõujoonte sihis ja neile külgedele jõud ei mõju. Jõudude F_1 ja F_2 mõjul hakkavad juhtmekeeru küljed *ab* ja *cd* liikuma vastassuundades, mille tulemusel keerd pöördub.

37.5. Millisel nähtusel põhineb elektrimootori töö?

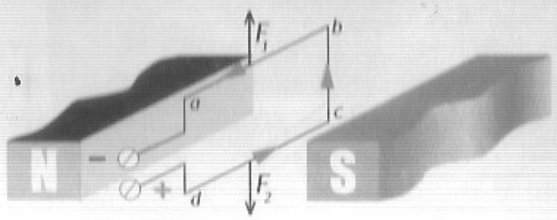
37.6. Miks vooluga mähis magnetväljas pöördub?

37.7. Mis viisil saab panna vooluga mähise magnetväljas pöörlema?



Joonis 37.7. Magnetväljas asuva vooluga juhtmekeeru eri külgedele mõjuvad vastassuunalised jõud.

Joonis 37.8. Magneti pooluste vahel asuv vooluga juhtmekeerd on tasakaaluasendis.



Juhtmekeerd pöördub asendisse, kus selle tasapind on risti magnetvälja jõujoontega. Vooluga raami (juhtmekeeru) sellist asendit nimetatakse **tasakaaluasendiks**. Ka tasakaaluasendis mõjuvad juhtmekeeru külgedele joud, kuid need püüavad keerdu välja venitada (joonis 37.8).

Kuna ühtegi liikuvat keha ei saa peatada hetkeliselt, siis ei peatu ka magnetväljas pöörduv vooluga juhtmekeerd täpselt tasakaaluasendis. Ta läbib selle. Et magneti pooluste vahel asuv juhtmekeerd hakkaks pöörlema, tuleb hetkel, kui keerd läbib tasakaaluasendi, muuta selles voolu suunda. Sel juhul mõjuvad külgedele *ab* ja *cd* ka pärast tasakaaluasendi läbimist liikumise suunalised joud ja juhtmekeerd pöörleb samas suunas edasi. Kui juhtmekeerd on teinud veel pool pööret, tuleb voolu suunda taas muuta. Sellisel põhimõttel töötabki elektrimootor, ainult ühe juhtmekeeru asemel on elektrimootoris magneti pooluste vahele paigutatud mähis, milles on palju keerde.

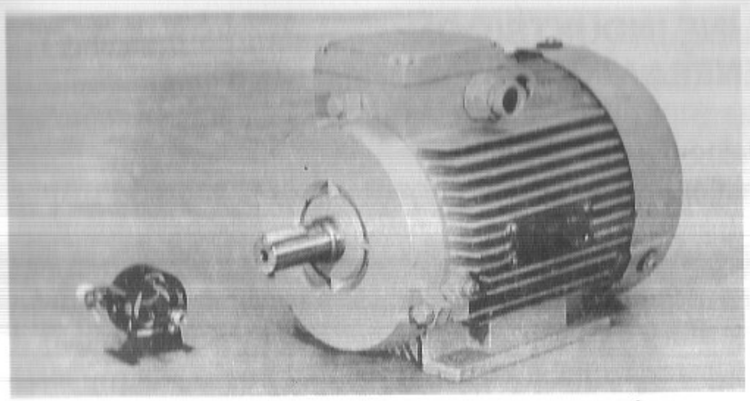
37.8. Milleks kasutatakse alalisvoolu elektrimootoris poolrõngaid?

Alalisvoolu elektrimootoris muudetakse voolu suunda raami mähises kahe **poolrõnga** abil (joonis 37.6). Poolrõngad on kinnitatud raami teljele ja pöörlevad koos mähisega. Kummagi teineteisest isoleeritud poolrõngaga on ühendatud mähise üks ots. Elektrivool juhitakse mähisesse läbi poolrõngaste vastu surutud grafiitvarraste, mida nimetatakse **mootori harjadeks**. Üks hari on ühendatud vooluallika positiivse, teine negatiivse poolusega. Kui raam koos poolrõngastega pöörleb, on vooluallika positiivse poolusega ühendatud vaheldumisi mähise üks, siis teine ots. Et voolu suund muutuks mähises õigeaegselt, kinnitatakse poolrõngad raami teljele nii, et hari läheb ühelt poolrõngalt üle teisele just sel hetkel, kui raami tasapind on risti magnetvälja jõujoontega.

37.9. Kuidas juhitakse elektrivool mootori mähisesse?

Elektrimootori pöörlevat osa nimetatakse **rootoriks**. Tavaliselt on rootorile keritud ühtlaste vahedega mitu üksteisest isoleeritud mähist. Mitme mähisega rootor pöörleb ühtlaselt. Elektrivool juhitakse mähistesse läbi rootori teljele kinnitatud metallplaadikeste. Iga plaadikese külge on kinnitatud ainult ühe mähise üks ots. Seega on plaadikeste arv mähiste arvust kaks korda suurem.

Tavaliselt tekitatakse elektrimootoris magnetväli elektromagnetite abil, kusjuures elektromagneti ja rootori mähised ühendatakse sama vooluallikaga.



Elektrimootoreid on erineva võimsusega ning nende kasutusala on väga lai. Neid rakendatakse näiteks elektromehaanilistes mänguasjades ja auto käiviteis, tolmuimejais, miksereis, pesumasinais ning paljudes teistes kodumasinais. Võimsad elektrimootorid panevad liikuma elektrivedureid, tramme ja trollibusse. Elektrimootoreid on erinevat liiki, ühed neist töötavad alalisvooluga, teised vahelduvvooluga.

37.10. Milline energia muundumine leiab aset elektrimootoris?

Töötavas elektrimootoris muundub elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Elektrimootorite kasutegur on tavaliselt väga suur. Võimsatel elektrimootoritel võib see olla kuni 98 %. Teiste masinate kasutegur on sellest palju väiksem.

Alalisvoolumootori leiutas vene füüsik Moritz Hermann Jacobi 1834. aastal. Juba neli aastat hiljem katsetas ta elektrimootorit Neeva jõel paadimootorina.

1. Nimeta seadmeid ja masinaid, kus kasutatakse elektrimootoreid?
2. Mähisega raam paigutati magnetvälja. Raami mähises tekitati elektrivool, kuid raam ei pöördunud. Miks vooluga raam ei pöördunud?
3. Lähtudes selle õppetüki sisust, seleta, kuidas töötab galvanomeeter?
4. Mis on ühist ja erinevat galvanomeetri ja alalisvoolumootori ehituses ja tööpõhimõttes?

38. ELETROMAGNETILINE INDUKTSIOON. ELEKTRIVOOLUGENERAATOR

- **Mida nimetatakse induktsioonivooluks?**
- **Kuidas töötab elektrivoolugeneraator?**

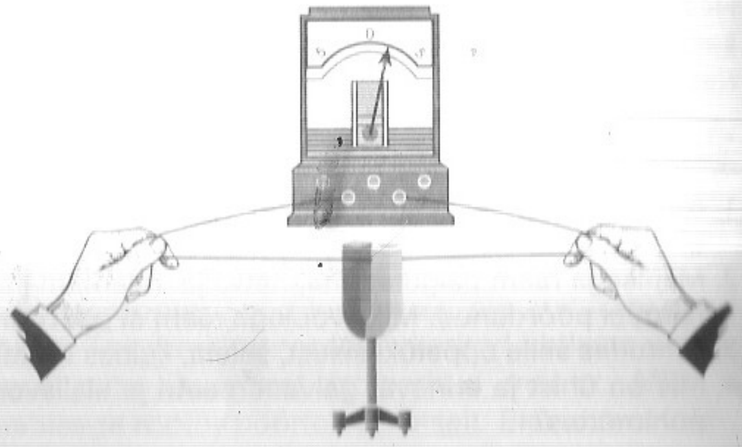
Michael Faraday – inglise füüsik, kes rajas õpetuse elektri- ja magnetväljast, avastas elektromagnetilise induktsiooni nähtuse ja voolu keemilise toime seadused. Leiutas voltmeetri, uuris ainete magnetomadusi ja tõestas katsete abil valguse ja magnetnähtuste seose.

Oersted avastas, et vooluga juht mõjutab magnetnõela. Ilmnes, et elektri- ja magnetnähtused on seotud. Varsti pärast seda avastust hakkasid mitmed füüsikud otsima vastust uuele küsimusele: kas magneti abil saab tekitada ka elektrivoolu? Selle probleemi lahendas inglise füüsik Michael Faraday (1791–1867).

Faraday alustas uuringutega 1822. aastal. On olemas isegi legend, et sellest ajast alates kandis ta taskus magnetit ja traadijuppi. Võib-olla selleks, et pidada meeles püstitatud eesmärki, või hoopis selleks, et saaks kontrollida tärganud ideesid. Faraday'l kulus oma eesmärgi teostamiseks ligi kümme aastat. Tema päevikutes on kirjas, et 29. augustil 1831. aastal õnnestus katse, millega ta avastas **elektromagnetilise induktsiooni** nähtuse.

Olgu U-magneti harude vahele paigutatud galvanomeetriga ühendatud sirgjuhe (joonis 38.1). Kui juhet piki magneti harusid liigutada, näitab galvanomeeter voolu olemasolu juhtmes. Vool kestab seni, kuni juhe liigub. Kui juhe on magneti harude vahel paigal või kui liigutada seda pooluste vahel risti magneti harudega, siis juhtmes voolu ei teki. Ka paigalolevas juhtmes võib tekkida vool, kuid ainult siis, kui liigutada juhtme suhtes magnetit. Magnetit tuleb liigutada aga nii, et juhe oleks kord magneti harude vahel, kord mitte.

38.1. Kuidas peab juhe U-magneti pooluste vahel liikuma, et juhtmes tekiks elektrivool?



Joonis 38.1. Kui juhet liigutada piki magneti harusid, tekib juhtmes elektrivool.

Teatavasti on magnetvälja jõujooned U-magneti pooluste vahel risti magneti harudega (joonis 37.3). Kirjeldatud katsest järeldub, et vool tekib juhtmes ainult siis, kui magneti harude vahel liikuv juhe piltlikult öeldes "lõikab" magnetvälja jõujooni. Ühe pooluse juurest teise juurde liikuv juhe liigub aga piki magnetvälja jõujooni. Piki jõujooni liikuv juhe neid ei lõika ja selliselt liikuvas juhtmes voolu ei teki.

38.2. Millisel juhul tekib magnetväljas liikuvas juhtmes elektrivool?

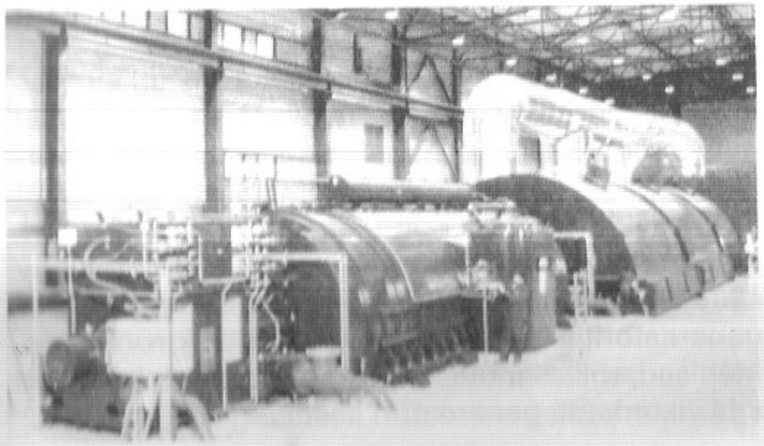
Elektromagnetilise induktsiooni nähtus avaldub selles, et **magnetväljas liikuvas juhtmes tekib elektrivool, kui juhe lõikab magnetvälja jõujooni**. Juhtmes tekkinud elektrivoolu nimetatakse **induktsioonivooluks**. Sõna induktsioon tuleneb ladinakeelsest sõnast *inductio* – ergutamine.

38.3. Milles avaldub elektromagnetilise induktsiooni nähtus?

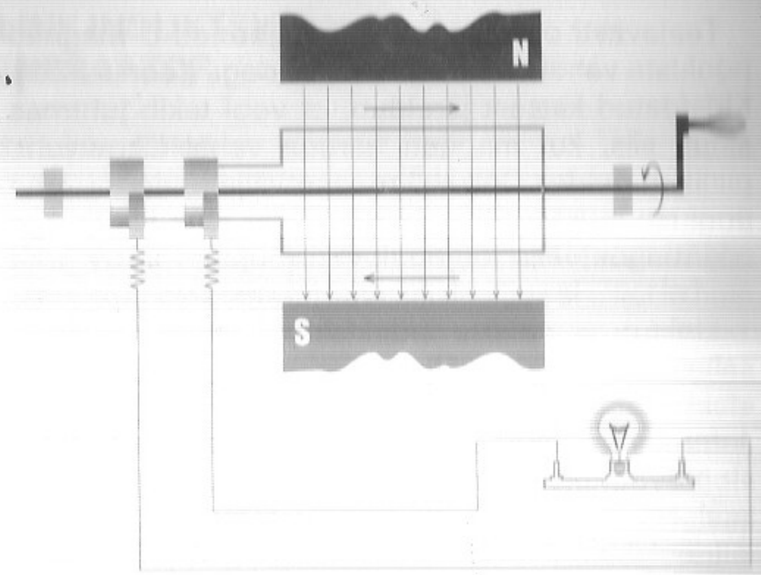
Induktsioonivoolu suund sõltub juhtme liikumise suunast magnetvälja jõujoonte suhtes. Kui juhtme viimisel magneti harude vahele kaldub galvanomeetri osuti näiteks skaala keskpunktist paremale, siis juhtme liikumisel magneti harude vahelt välja, kaldub osuti keskpunktist vasakule. Seega on induktsioonivool kummalgi juhul vastassuunaline.

38.4. Millest sõltub induktsioonivoolu suund?

Elektrivoolugeneraator. Elektromagnetilise induktsiooni nähtusel põhineb elektrivoolugeneraatori töö. Generaator on oma ehituselt sarnane elektrimootoriga. Kummagi seadme põhiosadeks on mähisega raam, püsimagnet või elektromagnet ja rõngad ning harjad. Kuigi need seadmed on ehituselt sarnased, on nende töö põhimõtted erinevad. Elektrimootori raami mähisesse juhitakse elektrivool ja vooluga juhi ning magnetvälja vastastikmõju tõttu hakkab raam pöörlema. Generaatoris pannakse mähisega raam magnetväljas pöörlema ning seetõttu tekib mähises ja sellega ühendatud juhis induktsioonivool (joonis 38.2).



Elektrivoolugeneraator



Joonis 38.2. Generaatoris pannakse mähisega raam magnetväljas pöörlema ning raami mähises ja sellega ühendatud juhis tekib induktsioonivool.

38.5. Miks tekib elektrivoolugeneraatori pöörlevas mähises elektrivool?

Magnetväljas pöörlevas mähises tekib vool sellepärast, et pöörleva mähise küljed lõikavad magnetvälja jõujooni. Kuna induktsioonivoolu suund sõltub juhtme liikumise suunast magnetvälja jõujoonte suhtes, siis tekib mähise vastaskülgedes vastassuunaline vool. Raami ühe täispöörde jooksul muutub voolu suund raami mähises kaks korda.

38.6. Mille poolest erinevad alalis- ja vahelduvvoolugeneraator?

Generaatori mähise otsad ühendatakse elektritarvitiga pöörleva raami teljele kinnitatud rõngaste ja nendega kokkupuutuvate harjade kaudu. Erineva ehitusega elektrivoolugeneraatorid toodavad kas alalis- või vahelduvvoolu. Alalis- ja vahelduvvoolugeneraatorid erinevad selle poolest, et alalisvoolugeneraatori mähise otsad on ühendatud kahe teineteisest isoleeritud poolrõngaga, vahelduvvoolugeneraatori mähise otsad aga kahe teineteisest isoleeritud täisrõngaga (joonis 38.2). Vahelduvvoolugeneraatorid on kaasajal põhilisteks vooluallikateks.

Võimsates elektrivoolugeneraatorites tekitatakse magnetväli elektromagnetitega. Generaatoris on mitu suure keerdude arvuga mähist, mille otstel tekib kõrge pinge. Kõrgepingelist voolu on rõngaste ja harjade abil väga raske mähiselt ära juhtida, sest nende vahel võib tekkida tugev sädelemine. Et seda vältida, pannakse võimsates generaatorites pöörlema hoopis elektromagnet. Mähised, milles indutseeritakse elektrivool, asuvad aga liikumatult generaatori kestas.

38.7. Milline energia muundumine leiab aset elektrivoolugeneraatoris?

Generaatori pöörlev osa pannakse pöörlema auruturbiini, hüdroturbiini või ka sisepõlemismootori abil. Auruturbiiniga ühendatud generaatorid töötavad soojus- ja aatomielektrijaamades. Hüdroelektrijaamades paneb generaatorid tööle hüdroturbiin. Elektrivoolugeneraatoris muundub mehaaniline energia elektrienergiaks. Suurtes elektrijaamades töötavad generaatorid, mille võimsus on üle miljoni kilovati ning pinge generaatori klemmidel ulatub 13–15 kilovoldini.

1. Pool on ühendatud galvanomeetriga. Kui pooli sisse viidi sirgmagneti põhjapoolus, kaldus galvanomeetri osuti paremale. Mis suunas kaldub galvanomeetri osuti siis, kui viia pooli sirgmagneti lõunapoolus?
2. Mis nähtusel põhineb elektrivoolugeneraatori töö?
3. Mille poolest on sarnased ja erinevad elektrivoolugeneraator ja elektrimootor?
4. Millised energia muundumised leiavad aset: 1) hüdroelektrijaama generaatoris? 2) soojuselektrijaama generaatoris?

39. ELEKTRIENERGIA ÜLEKANNE. TRANSFORMAATOR

- Miks on elektrienergia ülekandeliinides kõrgepingeline vool?
- Kuidas töötab transformaator?

39.1. Millised eelised on elektrienergial võrreldes teiste energialiikidega?

Elektrienergiat kasutatakse väga laialdaselt, sest sellel on teiste energialiikidega võrreldes rida eeliseid. Elektrienergiat saab kanda üle suurtele kaugustele ja seda on lihtne muundada teisteks energialiikideks, elektrienergia kasutamine on ökoloogiliselt puhas ning elektriseadmetel on tavaliselt suur kasutegur. Elektrienergia kasutamine säästab loodust küll vähe, kuid sageli võib selle tootmisega kaasneda märgatav looduse reostus. Tavaliselt toodetakse elektrienergiat riigi nendes piirkondades, kus on suured kütusevarud või sobiv piirkond hüdroelektrijaamade ehitamiseks. Seal toodetud elektrienergia edastatakse mööda ülekandeliine maa teistesse piirkondadesse.

39.2. Mis on elektrienergia ülekandeliinides energia kadude peamiseks põhjuseks?

Elektrienergia ülekandega kaasnevad märgatavad energiakaod. Üheks olulisemaks põhjuseks on juhtmete soojenemine elektrivoolu toimel. Kuna voolu toimel juhtmes eraldunud soojushulk sõltub juhtme takistusest ja voolutugevusest, siis saab energiakadusid vähendada sel teel, et kasutatakse elektriliine, mille takistus on väike või milles on võimalikult väike voolutugevus.

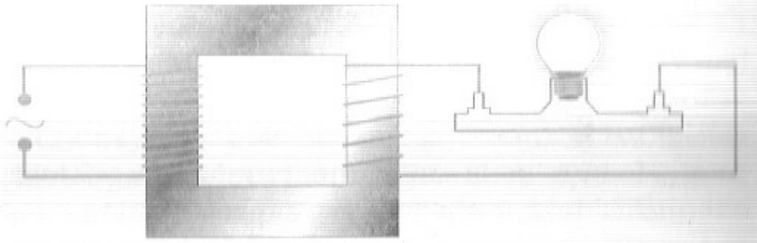
Elektrienergia ülekandel arvestatakse voolu võimsust. Elektrivoolu võimsus võib olla sama

väärtusega siis, kui: 1) juhi otstele on rakendatud madal pinge ja voolutugevus juhis on suur; 2) juhi otstele on rakendatud kõrge pinge ja voolutugevus juhis on väike. Näiteks, voolu võimsus juhis on 100 W nii siis, kui pinge juhi otstel on 100 V ja voolutugevus juhis on 1 A, kui ka siis, kui pinge juhi otstel on 1 V ja voolutugevus juhis on 100 A. Teisel juhul aga eraldub sama aja jooksul juhis 10000 korda suurem soojushulk, sest eraldunud soojushulk on võrdeline voolutugevuse ruuduga. Sellest johtuvalt on elektrienergia ülekandelinides otstarbekas kasutada kõrgepingelist elektrivoolu.

39.3. Miks on elektrienergia ülekandelinides kõrge pinge?

Vahelduvvoolu pinget saab tõsta ja alandada **transformaatoriga**. Transformaatori töö põhineb elektromagnetilise induktsiooni nähtusel. Transformaator koosneb kahest mähisest, mis on paigutatud ühisele raudsüdamikule (joonis 39.1). Transformaatori üks mähis ühendatakse vahelduvvooluallikaga, teine elektritarvitiga.

39.4. Milleks kasutatakse transformaatorit?



Joonis 39.1. Transformaatoril on kaks mähist, mis on paigutatud ühisele raudsüdamikule. Üks mähistest ühendatakse vooluallikaga, teine tarvitiga.

39.5. Kuidas transformaator töötab?

Mähise ühendamisel vooluallikaga tekib mähises elektrivool ja selle ümber magnetväli. Magnetväljas asuv transformaatori raudsüdamik magneetub. Et vahelduvvoolu suund ja tugevus muutuvad ajas, on ka voolu poolt tekitatud magnetväli ajas muutuv. Kuna transformaatori teine mähis on keritud samale raudsüdamikule, siis indutseerib muutuv magnetväli vahelduvvoolu ka selles mähises.

39.6. Millisel juhul on transformaator
– pinget alandav?
– pinget tõstev?

Tavaliselt on transformaatori mähiste keerdude arv erinev. Keerdude arvust mähistes sõltub pinge tarvitiga ühendatud mähise otstel. Kui tarvitiga ühendatud mähises on keerdusid rohkem kui vooluallikaga ühendatud mähises, on pinge tarviti klemmidel kõrgem pingest vooluallika klemmidel. Selline transformaator on pinget tõstev. Kui aga tarvitiga ühendatud mähises on keerdusid vähem kui vooluallikaga ühendatud mähises, on pinge tarviti klemmidel madalam kui vooluallika klemmidel ja transformaator on pinget alandav.

39.7. Mis toimub vooluallika ja tarvitiga ühendatud transformaatoris?

Vahelduvvooluallikas ja sellega ühendatud transformaatori mähis moodustavad suletud vooluringi, mida nimetatakse transformaatori primaarvooluringiks. Tarviti ja sellega ühendatud mähis moodustavad sekundaarvooluringi. Selles vooluringis on vooluallikaks tarvitiga ühendatud transformaatori mähis. Kuna sekundaarvooluringis on elektrivool ainult siis, kui primaarvooluringis on elektrivool, siis tarvitiga ühendatud transformaatoris toimub energia ülekanne primaarvooluringist sekundaarvooluringi.

Transformaatori kasutegur on tavaliselt väga suur, isegi 94–99 %. Nii kõrge kasuteguri tõttu on saadu võimsus primaar- ja sekundaarvooluringis ligilähedaselt võrdne ning selle võib avaldada seosega:

$$I_1 U_1 = I_2 U_2,$$

kus I_1 ja I_2 on voolutugevused transformaatori primaar- ja sekundaarvooluringis ning U_1 ja U_2 pinged vastavate mähiste otstel. Võimsuste seosest järeldub, et pinget tõstva transformaatori sekundaarvooluringis on maksimaalne voolutugevus alati väiksem kui primaarvooluringis. Pinget alandava transformaatori sekundaarvooluringis võib aga voolutugevus olla suurem kui primaarvooluringis.

39.8. Kuidas kasutatakse transformaatoreid elektrienergia ülekandel?

Elektrienergia ülekandel muundatakse elektrijaamade generaatorites indutseeritud vahelduvvool transformaatorite abil kõrgepingeliseks vahelduvvooluks. See edastatakse mööda kõrgepingelisi ülekandeõsse. Pikkades kõrgepingelinides on pinge sadades kilovoltides. Asustatud punktides pinget alandatakse mitme transformaatori abil. Elektrienergia tootmise, ülekande ja pinge muundamise tulemuseks on see, et me saame oma kodudes kasutada vahelduvvoolu pingega 220 V.

KOKKUVÕTE

- **Püsimagnetiks** nimetatakse keha, mis tõmbab enda poole raudesemeid ja millel selline omadus säilub pika aja vältel. Igal magnetil on kaks poolust, kus magneti mõju raudesemetele on kõige suurem. Magneti poolust, mis pöördub põhja suunas, nimetatakse magneti põhjapooluseks. Magnetite erinimelised poolused tõmbuvad, samanimelised tõukuvad.

- **Magnetväli** ümbritseb vooluga juhte ja püsimagneteid. Magnetvälja olemasolu saab kindlaks teha magnetnõelaga. Magnetväljas võtab magnetnõel kindla suuna ehk orienteerub. Magnetväljas mõjub magnetilisest materjalist kehadele ja vooluga juhtidele jõud. Magnetjõud on suunatud magnetväljas orienteerunud magnetnõela lõunapooluselt põhjapoolusele.

- **Magnetvälja jõujoonteks** nimetatakse jooni, mida mööda asetuvad magnetväljas väikeste magnetnõelte teljed. Magnetvälja jõujooned on kujutletavad jooned, neid tegelikkuses ei eksisteeri. Magnetvälja jõujooned on kinnised kõverjooned, mis ümbritsevad vooluga juhti või püsimagnetit. Magnetvälja iga punkti läbib ainult üks jõujoon. Sirgvoolu magnetvälja jõujoonte suuna saab määrata "parema käe reegeli" abil: kui parem käsi asetada nii, et selle väljasirutatud pöial näitab elektrivoolu suunda juhtmes, siis kõverdatud sõrmed näitavad magnetvälja jõujoonte suunda.

- **Elektromagnetiks** nimetatakse raudsüdamikuga pooli. Elektromagneti mõju on seda tugevam, mida suurem on keerdude arv ja voolutugevus poolis. Elektromagnet kaotab oma magnetvälja, kui selles elektrivool katkestada.

- **Maa on suur magnet**, mida ümbritseb magnetväli. Maa magnetiline lõunapoolus asub põhjapoolkeral, Maa magnetiline põhjapoolus asub lõunapoolkeral. Maa geograafilised ja magnetilised poolused ei ühti.

- **Magnetväljas mõjub vooluga juhtmele jõud.** Vooluga sirgjuhtmele magnetväljas mõjuva jõu suund on risti magnetvälja jõujoontega ja voolu suunaga juhtmes. Kui vooluga juhe asub piki magnetvälja jõujooni, siis sellele juhtmele magnetväljas jõud ei mõju.

- **Elektrimootori** töö põhineb magnetvälja ja vooluga raami vastastikmõjul. Vooluga raam pöördub magnetväljas. Elektrimootoris pannakse vooluga raam magnetväljas pöörlema, muutes iga poolpöörde järel voolu suunda raami mähises. Elektrimootoris muundub elektrivälja energia mehaaniliseks energiaks.

- **Elektromagnetilise induktsiooni nähtus** seisneb selles, et magnetväljas liikuvas juhtmes tekib elektrivool, kui juhe lõikab magnetvälja jõujooni. Juhtmes tekkinud elektrivoolu nimetatakse induktsioonivooluks.

- **Elektrivoolugeneraatori** töö põhineb elektromagnetilise induktsiooni nähtusel. Generaatoris pannakse mähisega raam magnetväljas pöörlema ning raami mähises ja sellega ühendatud juhis tekib induktsioonivool. Vahelduvvoolugeneraatorid on tänapäeval põhilisteks vooluallikateks. Elektrivoolugeneraatoris muundub mehaaniline energia elektrienergiaks.

- **Elektrienergiat edastatakse** elektrijaamadest asulatesse elektrienergia ülekandeliinide abil. Energiakadude vähendamiseks on ülekandeliinides kõrgepingeline elektrivool. Vahelduvvoolu pinget tõstetakse ja alandatakse transformaatorite abil. Transformaatori töö põhineb elektromagnetilise induktsiooni nähtusel.

ARVUTUSÜLESANNETE VASTUSED

10.1. 25 mA; **10.2.** 0,075 mA; **10.3.** 0,27 A; **10.4.** 750 C; **10.5.** 10 C; **10.6.** 150 s; **10.7.** $3{,}1 \cdot 10^{19}$ elektroni.

14.1. 30 h; **14.2.** 0,08 A·h; **14.3.** 600 C.

16.1. 5 mV, 2,5 mV; **16.2.** 3000 kV; **16.3.** 12 V; **16.4.** 1,5 C; **16.5.** 57 J; **16.6.** 18 V.

18.1. 3 A; **18.2.** 2 V.

19.1. 0,08 A; **19.2.** 815 Ω; **19.3.** 32 A; **19.4.** 4,6 A; **19.5.** 100 V; **19.6.** 10 V; **19.7.** 4 Ω, 8 Ω.

20.1. 1,7 Ω; **20.2.** 64 m; **20.3.** 6 mm²; **20.4.** 0,2 mm²; **20.5.** 16 m; **20.6.** 143 m; **20.7.** 2,5 Ω. **20.8.** nikeliinist.

23.1. 2 V; **23.2.** 15 Ω, 18 Ω; **23.3.** 2 A, 8 V, 12 V, 20 V; **23.4.** 4 Ω; **23.5.** 18 V.

24.1. 11,7 A; **24.2.** 500 Ω; **24.3.** 3,75 Ω; **24.4.** 143 Ω, 0,5 A, 0,2 A, 0,7 A; **24.5.** 5 Ω; **24.6.** 0,35 A.

25.1. 11,9 MJ; **25.2.** 20 min; **25.3.** 30 kJ; **25.4.** 55 Ω; **25.5.** valgusti lambis 50 korda.

26.1. 18 MJ; **26.2.** 48 W; **26.3.** 59 W; **26.4.** 0,27 A, 0,45 A, 100 W lambis; **26.5.** 0,13 kW; **26.6.** 25 W lambi takistus on 4 korda suurem. **26.7.** 60,5 Ω, 870 W.

29.1. 2,2 kW; **29.2.** ei saa; **29.3.** videomagnetofoni; **29.4.** 170 V; 870 W; 58%.

AINETE ERITAKISTUSED TEMPERATUURIL 20 °C

Aine	$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	Ω · m
Metallid ja nende sulamid		
hõbe	0,016	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
vask	0,017	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
kuld	0,024	$2{,}4 \cdot 10^{-8}$
alumiinium	0,028	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$
volfram	0,055	$5{,}5 \cdot 10^{-8}$
raud	0,098	$9{,}8 \cdot 10^{-8}$
plaatina	0,105	$10{,}5 \cdot 10^{-8}$
plii	0,21	$21 \cdot 10^{-8}$
nikeliin (sulam)	0,40	$40 \cdot 10^{-8}$
manganiin(sulam)	0,43	$43 \cdot 10^{-8}$
konstantaan (sulam)	0,50	$50 \cdot 10^{-8}$
elavhõbe	0,96	$96 \cdot 10^{-8}$
nikroom (sulam)	1,1	$110 \cdot 10^{-8}$
Elektrolüütide vesilahused		
koevedelik	0,15	$0{,}15 \cdot 10^{-6}$
H_2SO_4 10% lahus	26000	$2{,}6 \cdot 10^{-2}$
NaCl 10% lahus	83000	$8{,}3 \cdot 10^{-2}$
$CuSO_4$ 10% lahus	313000	0,31
Isolaatorid		
puhas vesi	10^{12}	10^{6}
klaas	10^{16}–10^{20}	10^{10}–10^{14}
portselan	10^{19}	10^{13}
marmor	10^{19}	10^{13}
eboniit	10^{20}	10^{14}

AINE- JA NIMEREGISTER

aatom 18
– aatomi tuum 18
– elektronkate 18
Ampère'i hüpotees 128
ampermeeter 39

elemagneetumine 124
elektrik 14

elektrienergia arvesti 104
elektrienergia ülekanne 149
elektrijaotusvõrk 117
elektrijõud 9; 17
elektrijuht 14; 29
elektrilaeng 7; 10; 20
– elektrilaengu jäävuse seadus 24
– elektrilaengu ühik 20
– elektrilaengu ülekanne 7; 22
– elementaarlaeng 19
elektriliselt isoleeritud süsteem 24
elektriliselt neutraalne keha 20
elektrimootor 142
elektriseeritud ehk laetud keha 7; 20
elektriseeritud kehade vastastikmõju 8
elektriskeem 58
elektrisoojendusriist 109
– kütteelement 109
elektritakistus 70; 72; 77; 81
– elektritakistuse ühik 72
elektritarviti 57
elektriväli 17; 28; 44
elektrivool 27
– alalisvool 42
elektrolüütide vesilahustes 31
metallides 30
– suund 28
– induktsioonivool 147
– vahelduvvool 43
elektrivoolu toimed 32
– keemiline 33
– magnetiline 34; 127
– soojuslik 33
elektrivoolu töö 98
– elektrivoolu töö ühik 98; 104
elektrivoolu võimsus 102
– elektrivoolu võimsuse ühik 102
elektromagnet 134
elektromagnetrelee 135
elektromagnetiline induktsioon 147
elektron 18
elektroskoop 12
elektrostaatika 11
eritakistus 77
– eritakistuse ühik 77

faasijuhe 114

galvanomeeter 34; 39; 65

halogeenlamp 108
hõõglamp 107
hõõrdeelekter 7; 23

ioon 20
– positiivne 20
– negatiivne 20
isolaator 14

Joule'i-Lenzi seadus 100
juhe 57
juhtide jadaühendus 58; 87
juhtide rööpühendus 59; 90

kaitse 116
– bimetallkaitse118
– sulavkaitse 117
kaitsemaandus 120

lühis 115
lüliti 57

maandamine 14
magneetumine 124
magnet 124
– magneti neutraalne piirkond 125
– magneti poolus 125
– magnetnõel 126
– püsimagnet 124
– püsimagnetite vastastikmõju 126
magnetiline anomaalia 139
magnetjõud 130
magnettorm 139
magnetväli 129
– Maa magnetväli 138
– magnetvälja jõujooned 130
sirgmagneti 131
vooluga pooli 133
vooluga sirgjuhtme 131
metalli kristallivõre 30
mikrofon 137
mittejuht 14; 29

neutron 18
nimipinge 103
nimivõimsus 103
nulljuhe 114

Ohmi seadus 69
oommeeter 73

parema käe reegel 132
pinge 60
– pingeühik 62
pingeindikaator 114
prooton 18

reostaat 85

takisti 83
takistustermomeeter 81
telefon 137
tester 73
transformaator 150

vaba laengukandja 27; 30; 31
vaba elektron 30
ioon 32
vattmeeter 103
virmalised 140
voltmeeter 65
vooluallikas 28; 50
– vooluallika poolus 50
– aku 55
–aku mahutavus 56
– elektrivoolugeneraator 147
– fotoelement 51
– galvaanielement 53
– keemiline 49; 51
– kuivelement 55
– kuivelementide patarei 55
– päikesepatarei 51
– termoelement 51
vooluga juhe magnetväljas 141
vooluring 57
voolutugevus 36
– voolutugevuse ühik 36

ülijuhtivus 82

Ampère, André Marie 37; 128
Coulomb, Charles Augustin 21
Dufay, Charles François 9
Edison, Thomas Alva 109
Faraday, Michael 17; 124; 131; 146
Franklin, Benjamin 9; 10
Galvani, Luigi 47
Gilbert, William 5; 124; 138
Jacobi, Moritz Hermann 33, 145
Joule, James 99
Kammerling-Onnes, Heike 82
Lenz, Emil 81; 100
Lodõgin, Aleksandr 109
Maxwell, James Clerk 17; 124
Oersted, Hans Christian 124; 127
Ohm, Georg Simon 69; 70; 72; 77
Peregrinus, Petrus 123
Thales 5
Volta, Alessandro 48; 62

SISUKORD

Saateks 3

I peatükk. ELEKTRILAENGUD JA ELEKTRIVÄLI 5

1. Kehade elektriseerumine. Elektrilaeng 6
2. Elektriseeritud kehade vastastikmõju. Kahte liiki laengud 8
   Benjamin Franklin – füüsik ja riigimees 10
3. Elektroskoop. Juhid ja mittejuhid 12
4. Elektriväli 16
5. Aatomimudel. Elementaarlaeng 18
6. Elektrilaengu ülekanne. Hõõrdeelekter. Laengu jäävuse seadus 21

Kokkuvõte 25

II peatükk. ELEKTRIVOOL 26

7. Elektrivool. Elektrivoolu suund 26
8. Elektrivool metallides ja elektrolüütide vesilahustes 29
9. Elektrivoolu toimed. Galvanomeeter 32
10. Voolutugevus. Voolutugevuse ühik 36
11. Ampermeeter. Voolutugevuse mõõtmine 39
12. Alalisvool ja vahelduvvool 42

Kokkuvõte 44

III peatükk. VOOLURING 46

Konna koivast esimese vooluallikani 47
13. Vooluallikas 49
14. Keemilised vooluallikad 52
15. Vooluring 57
16. Pinge. Pinge ühik 60
17. Voltmeeter. Pinge mõõtmine 65
    Kuidas teaduses uusi teadmisi saadakse 67
18. Ohmi seadus 67
19. Elektritakistus. Elektritakistuse ühik 72
20. Takistuse sõltuvus juhi mõõtmetest ja ainest. Eritakistus 75
21. Juhi takistuse sõltuvus temperatuurist. Ülijuhtivus 80
22. Takisti. Reostaat. Voolutugevuse reguleerimine 83
23. Juhtide jadaühendus 86
24. Juhtide rööpühendus 90

Kokkuvõte 95

IV peatükk. ELEKTRIVOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS 97

25. Elektrivoolu töö 98
26. Elektrivoolu võimsus. Arvesti 102
27. Hõõglamp. Elektrisoojendusriistad 107
Kokkuvõte 110

V peatükk. ELEKTER KODUS 111

28. Elektrivõrk kodus. Faasijuhe ja nulljuhe 112
29. Lühis. Kaitsmed 115
30. Elektriseadmete kaitsemaandamine 119
Kokkuvõte 121

VI peatükk. MAGNETNÄHTUSED 123

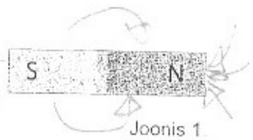
31. Püsimagnetid 124
32. Voolu magnetiline toime. Oerstedi katse 126
33. Magnetväli. Magnetvälja jõujooned 129
34. Vooluga pooli magnetväli. Elektromagnet 133
35. Mikrofon ja telefon 136
36. Maa magnetväli 138
37. Vooluga juhe magnetväljas. Alalisvoolumootor 141
38. Elektromagnetiline induktsioon. Elektrivoolugeneraator 146
39. Elektrienergia ülekanne. Transformaator 149
Kokkuvõte 152

Arvutusülesannete vastused 154
Ainete eritakistused temperatuuril 20 °C 155
Aine- ja nimeregister 156

OÜ «Greif». Tellimuse nr. 1681.

1999/2000 Madis Jürviste 9A
2000/2001 Jaanus [illegible]
[illegible] Kera
01/02 [illegible]
2002/03 Martin Kirotar
2003/04 Astrid Tisler
04/05 [illegible] rebitud lk 15 eelmise õpilase poolt
05/06 Liis Thomas
06/07 Tõnis Senn
08/09 [illegible]
09/10 Teet Ehatamm 9a
10/11 Deniss [illegible] 9A
11/12 Keira Tauk 9A
12/13 [illegible] 9A

4. Miku lähendas sirgmagneti laual olevale kompassile. Joonisel 1 on kujutatud kompassinõel enne selle tasakaaluasendisse pöördumist. Tähista magnetnõela poolused ja visanda noolekestega sirgmagneti magnetväljas magnetnõelale mõjuvad jõud.



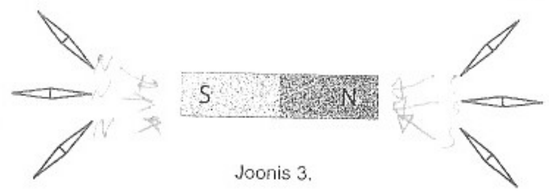
Joonis 1.

Joonis 2.

4.1. Visanda joonisel 2 sirgmagneti magnetväljas orienteerunud magnetnõel, tähista magnetnõela poolused ning visanda noolekesega magnetnõela asukohas magnetjõu suund.

4.2. Selgita väljendit „magnetnõel orienteerub magnetväljas".

4.3. Joonisel 3 on kujutatud sirgmagneti magnetväljas orienteerunud magnetnõelu. Märgi magnetnõeltele nende poolused ja joonista noolekesega iga magnetnõela asukohta sirgmagneti magnetväljas mõjuva magnetjõu suund.



Joonis 3.

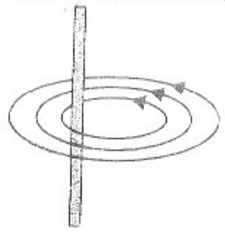
4.4. Kuidas on magnetjõud magnetvälja erinevates punktides suunatud?

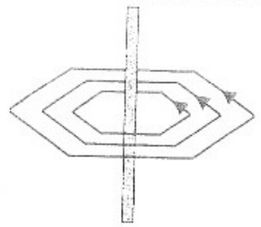
5. Magnetväljasid kujutatakse magnetvälja jõujoonte abil. Joonistel 4, 5 ja 6 on kujutatud vooluga sirgjuhtme magnetvälja jõujooni. Põhjenda, millisel joonisel on jõujooned õigesti kujutatud, millisel valesti.

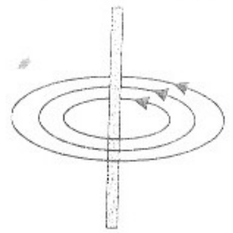
Joonisel 4 on

Joonisel 5 on

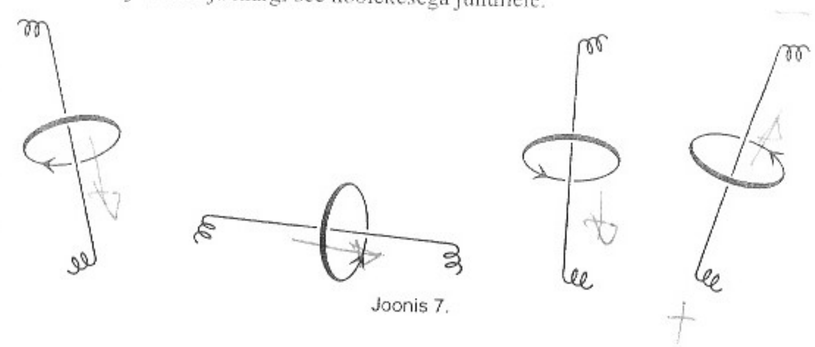
Joonisel 6 on


Joonis 4.

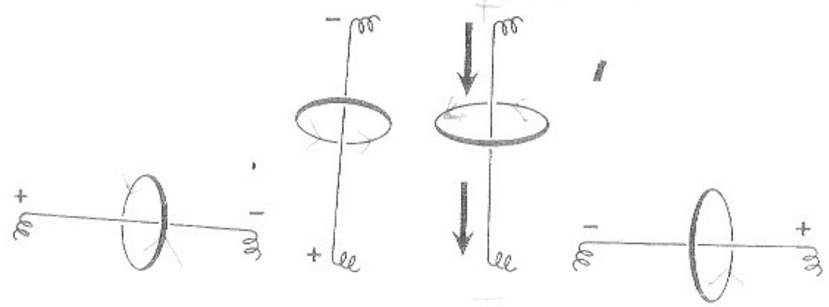

Joonis 5.


Joonis 6.

6. Joonistel 7 on kujutatud vooluga sirgjuhe ja selle magnetvälja üks jõujoon. Määra voolu suund juhtmes ja märgi see noolekesega juhtmele.


Joonis 7.

7. Joonisel 8 on kujutatud vooluga sirgjuhe ja selle magnetvälja üks jõujoon. Määra magnetvälja jõujoone suund ja märgi see noolekesega jõujoonele.


Joonis 8.